

# **Auditoria Energética à Escola Secundária de Pedro Ferreiro do Agrupamento de Escolas de Ferreira do Zêzere**

Trabalho de Projeto para a obtenção do Grau de Mestre em  
Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

**Autor**

**Tiago Filipe Carrasqueira Roxo**

**Orientadores**

**Professor Doutor Carlos Manuel Borralho Machado Ferreira**  
**Professora Doutora Cristina Isabel Ferreira Figueiras Faustino Agreira**  
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

**Coimbra, dezembro, 2013**







## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças ao apoio e colaboração, de forma direta ou indireta, de várias pessoas e instituições, às quais vou expressar algumas palavras de agradecimento e profundo reconhecimento.

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus orientadores, pela disponibilidade manifestada para orientar este trabalho, bem como os incentivos, os esclarecimentos e os conselhos que me foram transmitindo ao longo do trabalho. Gostaria igualmente de expressar os meus agradecimentos ao Professor Doutor Gilberto Cordeiro Vaz pelo apoio e sugestões prestadas.

À Dra. Maria Isabel Saúde Ferreira da Silva e à Dra. Maria João Gomes da Silva Marçal Ferreira, Diretoras do Agrupamento de Escolas de Ferreira do Zêzere, por todo o empenho demonstrado, pela disponibilidade e por terem autorizado a consulta de documentação interna à Escola Secundária de Pedro Ferreiro, necessária para a realização deste trabalho.

Ao Sr. Armindo Manuel da Conceição Gaspar por toda a disponibilidade e ajuda nas diversas tarefas realizadas durante as visitas à Escola Secundária de Pedro Ferreiro.

Por último, mas não menos importante, à minha família e amigos mais chegados, pelo apoio e compreensão inestimáveis, pelos diversos sacrifícios suportados e pelo constante encorajamento e incentivo durante o meu percurso académico.

A todos um grande bem-haja.



## RESUMO

O presente trabalho consiste na elaboração de uma Auditoria Energética ao edifício de uma Escola Secundária, no âmbito do Mestrado em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia, na área de especialização de Sistemas de Energia e Automação, sendo parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre nesta área de conhecimento.

Uma Auditoria Energética compreende o estudo das condições de utilização de energia num edifício/instalação e na identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético do mesmo. Para a sua execução, foi efetuado um levantamento das cargas e respetivas condições de utilização; foram monitorizados os consumos, por recurso a um analisador de energia; foram tratados os dados recolhidos; foi feita uma pesquisa da tecnologia mais eficiente disponível no mercado, para tornar o edifício mais eficiente e solucionar os problemas encontrados; finalmente, foram apresentadas as melhores soluções e efetuada a sua análise económica.

A Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro está inserida no Agrupamento de Escolas de Ferreira do Zêzere, e as suas origens arquitetónicas remontam à década de 70 do século passado, pelo que a sua construção apresenta algumas lacunas, sobretudo ao nível do seu desempenho térmico e ao nível do sistema de iluminação. Neste sentido, as propostas apresentadas assentam sobretudo em medidas para reabilitação da envolvente do edifício e na reestruturação do sistema de iluminação, de forma a respeitar as normas atuais e a legislação em vigor.

**Palavras-chave:** Auditoria Energética, Eficiência Energética em Edifícios, Reabilitação Energética de uma Escola Secundária.





## ABSTRACT

The project consists of an Energy Audit of a high school building, this work was done as part of the requirements for obtaining the Master's degree in Automation and Communications in Energy Systems.

An Energy Audit comprises a complete study of energy use in a building and the identification of energy efficiency improvement measures that can be applied to that building. In order to perform an Energy Audit, a list of loads and their rates of use was established and the energy consumption was monitored using a Power Quality Analyzer equipment. The data collected was processed and, for every problem found, a solution that increases the energy efficiency was proposed and presented with its economic analysis.

The “Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro”, included in the school group of “Ferreira do Zêzere”, was constructed in the 70's of last century, so there are a number of construction flaws or deficiencies especially in building's thermal and lighting efficiency.

The solutions proposed in this study are based mainly in building's envelope renovation and lighting system restructuring, in order to comply with the current legislation and standards.

**Keywords:** Energy Audit, Energy Efficiency in Buildings, Improving Energy Efficiency in Schools Buildings.



## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	i
RESUMO .....	iii
ABSTRACT .....	v
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE TABELAS .....	xiii
ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS .....	xv
SIMBOLOGIA .....	xvii
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Enquadramento .....	1
1.2. Objetivos.....	8
1.3. Estrutura do Documento .....	9
2. AUDITORIA ENERGÉTICA EM CENTROS ESCOLARES .....	11
2.1. Conceitos gerais.....	11
2.1.1. Metodologia .....	12
2.2. Legislação.....	13
2.2.1. Diretiva 2002/91/CE (EPBD) .....	13
2.2.2. Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de abril (SCE).....	13
2.2.3. Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de abril (RSECE).....	14
2.2.4. Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de abril (RCCTE) .....	15
2.2.5. Portaria n.º 461/2007 .....	16
2.2.6. Diretiva 2010/31/UE (EPBD).....	16
2.2.7. Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto .....	16
2.2.8. Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE).....	17
2.2.9. ECO.AP .....	17
2.2.10. EN 12464-1 .....	18
2.3. Poluição Harmónica .....	19
2.3.1. Distorção Harmónica Total ( <i>DHT</i> ).....	20
2.3.2. Filtros de Compensação .....	21
2.4. Fator Potência .....	22
2.5. Conceitos Bioclimáticos .....	24
2.6. Energia Solar Térmica .....	26
2.6.1. A orientação .....	27

2.6.2.	Painéis solares térmicos.....	27
2.6.2.1.	Painéis de líquido sem proteção .....	28
2.6.2.1.	Painéis de líquido com proteção .....	28
2.6.2.2.	Painéis de tubos de vácuo .....	29
2.6.2.3.	Painéis com caixa-de-ar.....	30
2.6.3.	Tipos de sistemas .....	30
2.6.3.1.	Sistemas por termossifão .....	30
2.6.3.1.	Sistemas por circulação forçada.....	30
2.7.	Envidraçados.....	31
2.7.1.	Fator solar .....	32
2.7.2.	Coeficiente de transmissão luminosa .....	32
2.7.3.	Coeficiente de reflexão luminosa .....	33
2.7.4.	Coeficiente de transmissão térmica .....	33
2.7.5.	Diversidade e caraterísticas do vidro.....	34
2.7.6.	O gás na câmara de preenchimento .....	37
2.7.7.	Dispositivo de sombreamento .....	37
2.7.8.	Tipo e principais funções do caixilho .....	38
2.8.	Iluminação.....	40
2.8.1.	Conceitos.....	40
2.8.1.1.	Fluxo luminoso .....	40
2.8.1.2.	Intensidade luminosa .....	40
2.8.1.3.	Iluminância .....	40
2.8.1.4.	Luminância .....	40
2.8.1.5.	Temperatura de cor.....	41
2.8.1.6.	Relação entre iluminância e temperatura de cor .....	42
2.8.1.7.	Índice de restituição de cor .....	43
2.8.1.8.	Tempo de vida útil.....	43
2.8.1.9.	Valores recomendados de iluminância .....	44
2.8.1.10.	Influência da idade .....	46
2.8.1.11.	Eficácia luminosa .....	46
2.8.2.	Lâmpadas .....	46
2.8.2.1.	Lâmpadas de incandescência .....	46

2.8.2.2.	Lâmpadas de halogénio .....	47
2.8.2.3.	Lâmpadas de descarga.....	47
2.8.2.4.	Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão .....	48
2.8.2.5.	Lâmpadas fluorescentes .....	48
2.8.2.6.	Lâmpadas florescentes compactas .....	49
2.8.2.7.	Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão.....	49
2.8.2.8.	Lâmpadas de vapor mercúrio de alta pressão.....	50
2.8.2.9.	Lâmpadas de luz mista .....	50
2.8.2.10.	Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos.....	51
2.8.2.11.	Lâmpadas LED .....	51
2.8.2.12.	Iluminação por fibra ótica.....	52
2.8.3.	Balastros .....	53
2.8.3.1.	Balastros eletromagnéticos .....	53
2.8.3.2.	Balastros eletrónicos.....	54
2.9.	Isolamento de Fachadas – Sistema ETICS .....	55
3.	CARATERIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES.....	59
4.	CARATERIZAÇÃO ENERGÉTICA .....	65
4.1.	Tarifário de Energia Elétrica em Vigor .....	65
4.2.	Utilização da Energia.....	66
4.3.	Caraterização das Cargas.....	68
4.3.1.	Eletricidade .....	68
4.3.2.	Gás Propano .....	75
4.4.	Analisador de Redes .....	77
4.5.	Índice de Consumo Médio Mensal.....	81
4.6.	Análise da Melhor Opção Tarifária e Fator de Potência .....	82
4.6.1.	Opção Tarifária .....	82
4.6.2.	Fator de Potência.....	82
4.7.	Perturbações que afetam a instalação .....	83
4.7.1.	Desequilíbrio de fases.....	83
4.7.2.	Poluição Harmónica.....	83
4.7.3.	Distorção Harmónica Total .....	84
4.8.	Envolvente .....	85
4.8.1.	Envidraçados.....	85

---

4.8.2. Paredes exteriores .....	87
4.9. Aquecimento .....	88
4.10. Águas Quentes Sanitárias.....	89
4.11. Iluminação.....	92
4.11.1. Níveis de Iluminação .....	93
5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E PROPOSTAS DE RACIONALIZAÇÃO DE CONSUMOS .....	97
5.1. Envidraçados .....	97
5.2. Isolamento Paredes Exteriores .....	98
5.3. Isolamento Tubos AQS .....	99
5.4. Iluminação.....	100
5.4.1. Sala 11 .....	100
5.4.2. Hall .....	102
5.4.3. Sala 6 .....	103
5.5. Instalação Painéis Solares Térmicos .....	105
6. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS .....	109
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Evolução do consumo mundial de energia em milhões de tep (BP, 2013).....	2
Figura 1.2. Distribuição do consumo de energia por regiões no ano de 2012 (BP, 2013) .....	2
Figura 1.3. Evolução da dependência energética de Portugal, em percentagem (DGEG, 2013)3	
Figura 1.4. Evolução do saldo importador de produtos energéticos em Portugal (DGEG, 2013)	
.....	4
Figura 1.5. Evolução do consumo de energia primária (ktep), em Portugal (DGEG, 2013) .....	4
Figura 1.6. Evolução do consumo de energia primária na produção de energia elétrica (ktep)	
em Portugal e respetiva distribuição por setor (DGEG, 2013).....	6
Figura 1.7. Quota do consumo de energia por setor de atividade económica (INEa, 2013).....	7
Figura 1.8. Distribuição do consumo de energia no setor comercial (INEa, 2013) .....	7
Figura 1.9. Distribuição do consumo de energia no setor residencial (INEa, 2013).....	7
Figura 2.1. Harmónicos (Moreno, 2001).....	20
Figura 2.2. Exemplo Atuação Filtro Ativo (Moreno, 2001).....	22
Figura 2.3. Triângulo de potências (WEG Automação, 2009).....	23
Figura 2.4. Carga indutiva (Norcontrol, 2013).....	23
Figura 2.5. Estratégias bioclimáticas a adotar para o zoneamento I2V3 (Gonçalves, 2004). ..	25
Figura 2.6. Radiação solar global e suas componentes (PE, 2004). .....	27
Figura 2.7. Radiação solar global anual em Portugal (PE, 2004) .....	27
Figura 2.8. Ângulos da altura solar para diversas alturas do ano (Doninelli, 2005). .....	28
Figura 2.9. Pannel de líquido sem proteção (Doninelli, 2005).....	29
Figura 2.10. Pannel de líquido com proteção (Doninelli, 2005). .....	29
Figura 2.11. Pannel de tubos de vácuo (Doninelli, 2005). .....	29
Figura 2.12. Pannel com caixa-de-ar (Doninelli, 2005). .....	30
Figura 2.13. Sistema circulação em termossifão (PST, 2013). .....	31
Figura 2.14. Sistema circulação forçada (PST, 2013). .....	31
Figura 2.15. Tipos de janelas disponíveis no mercado (Diogo, 2012). .....	31
Figura 2.16. Decomposição da radiação incidente num envidraçado (Faustino, 2012).....	32
Figura 2.17. Corte de um vidro duplo (Martins, 2009). .....	34
Figura 2.18. Corte de janela mista de madeira e alumínio (Martins, 2009). .....	39
Figura 2.19. Corte de janela metálica com corte térmico (Martins, 2009).....	39
Figura 2.20. Corte de janela em PVC (Martins, 2009).....	39
Figura 2.21. Principais propriedades fotométricas (Silva, 2011). .....	41
Figura 2.22. Temperatura de cor (Araújo, 2013).....	41
Figura 2.23. Diagrama de Kruithof (Cuttle, 2008). .....	42
Figura 2.24. Evolução da eficiência das fontes de luz (Louçano, 2009). .....	46
Figura 2.25. Lâmpadas de halogénio (Marques, 2010). .....	47
Figura 2.26. Componentes de uma lâmpada de descarga de vapor de sódio (Marques, 2010).	
.....	48
Figura 2.27. Componentes de uma lâmpada fluorescente (Marques, 2010). .....	49
Figura 2.28. Lâmpadas fluorescentes compactas. ....	49
Figura 2.29. Construção e operação das lâmpadas de vapor de sódio de	
alta pressão (Louçano, 2009).....	50
Figura 2.30. Construção e operação da lâmpada de vapor de mercúrio	
de alta pressão (Louçano, 2009). .....	50
Figura 2.31. Constituição de uma lâmpada de luz mista (Marques, 2010). .....	51
Figura 2.32. Lâmpada de vapor de mercúrio o com iodetos metálicos (Marques, 2010). .....	51
Figura 2.33. Constituição de uma lâmpada LED (Soares, 2011). .....	52

Figura 2.34. Composição de um cabo de fibra ótica (Soares, 2011). .....	52
Figura 2.35. Esquema do conjunto balastro e arrancador (Marques, 2010). .....	53
Figura 2.36. Balastro eletrónico (Marques, 2010). .....	54
Figura 2.37. Constituição do sistema ETICS (WEBER, 2012). .....	56
Figura 3.1. Vista aérea da Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro ( <i>Google Maps</i> ).....	59
Figura 3.2. Entrada principal da Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro. ....	60
Figura 3.3. Planta da Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro. ....	61
Figura 4.1. Custos mensais com energia elétrica. ....	66
Figura 4.2. Consumo mensal de energia ativa em kWh.....	67
Figura 4.3. Custos com abastecimento de gás propano a granel.....	67
Figura 4.4. Relação dos custos totais com energia. ....	68
Figura 4.5. Relação das cargas elétricas. ....	75
Figura 4.6. Caldeira a gás <i>FERRULI</i> , modelo <i>PEGASUS F2 N 105 24</i> . ....	76
Figura 4.7. Depósito acumulador <i>ACV</i> , modelo <i>JUMBO 1000</i> . ....	76
Figura 4.8. Caldeira a gás <i>FERRULI</i> , modelo <i>PEGASUS F2</i> . ....	76
Figura 4.9. Esquentador <i>Vulcano</i> , <i>Click! Ventilado</i> , modelo <i>WRD-KME 17</i> . ....	76
Figura 4.10. Caldeira da marca <i>Roca</i> , modelo <i>NG 400</i> .....	77
Figura 4.11. Analisador de redes trifásicas <i>HIOKI 3197</i> . ....	77
Figura 4.12. Montagem do analisador no quadro geral da escola.....	78
Figura 4.13. Diagrama de cargas. ....	78
Figura 4.14. Potência média instantânea registada no dia 12/12/2013. ....	79
Figura 4.15. Potência média instantânea registada no dia 15/12/2013. ....	79
Figura 4.16. Somatório da energia total consumida.....	80
Figura 4.17. Evolução do fator de potência. ....	81
Figura 4.18. Forma de onda corrente sistema trifásico. ....	83
Figura 4.19. Representação da forma de onda do THD1.....	84
Figura 4.20. Representação da forma de onda do THD2.....	84
Figura 4.21. Representação da forma de onda do THD3.....	84
Figura 4.22. Tubagem sem isolamento. ....	89
Figura 4.23. Permutador de placas e tubagens das AQS sem isolamentos. ....	90
Figura 4.24. Tubagens das AQS sem isolamento. ....	90
Figura 4.25. Fotografia termográfica da tubagem das AQS. ....	90
Figura 4.26. Biblioteca.....	93
Figura 4.27. Caixa de iluminação natural. ....	93
Figura 4.28. Simulação do <i>Hall</i> junto à Sala 21. ....	94
Figura 4.29. Simulação da Sala 6.....	95
Figura 4.30. Simulação da Sala 11.....	95
Figura 4.31. Simulação claraboia do <i>Hall</i> .....	96
Figura 5.1. Menu <i>ISOPIPE – Calculation Program</i> com a configuração dos parâmetros.....	99
Figura 5.2. Gráfico com perdas térmicas por espessura de isolamento. ....	100
Figura 5.3. Sala 11. ....	101
Figura 5.4. <i>Hall</i> . ....	102
Figura 5.5. <i>ATEGIRIA 56</i> . ....	103
Figura 5.6. Sala 6. ....	104
Figura 5.7. Possível localização dos painéis solares térmicos. ....	106
Figura 5.8. Esquema da instalação solar para a climatização e AQS. ....	107



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. Descrição dos ângulos usados na tecnologia solar (PE, 2004).....	27
Tabela 2.2. (a). Tipos de vidro, suas características e finalidades, existentes no mercado (Faustino, 2012). ....	35
Tabela 2.3. Principais propriedades dos materiais mais utilizados em caixilharia (Martins, 2009). ....	38
Tabela 2.4. Relação entre iluminância e temperatura de cor.....	42
Tabela 2.5. Valores limite para o índice de restituição de cor (Louçano, 2009). ....	43
Tabela 2.6. Tempo de vida útil de diferentes tipos de lâmpadas (Marques, 2010). ....	43
Tabela 2.7. Valores de iluminância média. ....	44
Tabela 2.8. Valores de iluminância por espaço funcional (Parque Escolar, 2009). ....	45
Tabela 2.9. Consumo lâmpada/balastro (Louçano, 2009). ....	53
 Tabela 3.1. Estruturas edificadas na Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro.....	61
Tabela 3.2. Edifício Principal e pavilhão gimnodesportivo. ....	62
Tabela 3.3. Áreas das totais das diferentes infraestruturas.....	63
Tabela 3.4. Calendário escolar do ano letivo de 2012/2013.....	63
 Tabela 4.1. Tarifa transitória de venda a clientes finais em BTE (EDP, 2013). ....	65
Tabela 4.2. Ciclo diário para BTE e BTN em Portugal Continental (ERSE, 2013).....	66
Tabela 4.3. Consumos globais de energia, custos e CO <sub>2</sub> emitido. ....	67
Tabela 4.4 (a). Descrição das cargas elétricas do primeiro andar. ....	69
Tabela 4.4 (b). Descrição das cargas elétricas do primeiro andar. ....	70
Tabela 4.5 (a). Descrição das cargas elétricas do rés-do-chão. ....	71
Tabela 4.5 (b). Descrição das cargas elétricas do rés-do-chão. ....	72
Tabela 4.5 (c). Descrição das cargas elétricas do rés-do-chão. ....	73
Tabela 4.6. Descrição das cargas elétricas da cave. ....	73
Tabela 4.7. Descrição das cargas elétricas do sistema comunicações.....	74
Tabela 4.8. Descrição das cargas elétricas dos edifícios adjacentes. ....	74
Tabela 4.9. Simulação da faturação das tarifas de energia elétrica para 2013 (ERSE, 2013)..	82
Tabela 4.10. Simulação da fatura mensal (ERSE, 2013).....	83
Tabela 4.11. Descrição dos envidraçados.....	86
Tabela 4.12. Leituras registadas e especificações da norma EN12464-1.....	94
 Tabela 5.1. Investimento Sala 11.....	100
Tabela 5.2. Investimento <i>Hall</i> . ....	102
Tabela 5.3. Investimento Sala 6.....	104
Tabela 5.4. Evolução dos custos Sala 6.....	105



## ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

AQS – Águas Quentes Sanitárias

atm – Atmosfera

BT – Baixa Tensão

BTE – Baixa Tensão Especial

BTN – Baixa Tensão Normal

CE – Comunidade Europeia

CMM – Consumo Médio Mensal

DL – Decreto-Lei

DHT – Distorção Harmónica Total

DR – Diário da República

DVD – *Digital Versatile Disc* (Disco Digital Versátil)

ECO.AP – Programa de Eficiência Energética na Administração Pública

EN – Norma Europeia

ENE – Estratégia Nacional para a Energia

EPS – Poliestireno Expandido

ERSE – Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos

ETICS – *External Thermal Insulation Composite System* (Sistema Isolamento Térmico Exterior)

GEE – Gases de Efeito de Estufa

HVAC – *Heating, Ventilating and Air Conditioning* (Aquecimento, Ventilação e Ar Acondicionado)

IGBT – *Insulated Gate Bipolar Transistor* (Transistor Bipolar de Porta Isolada)

INE – Instituto Nacional de Estatística

IRC – Índice de Restituição de Cor

LED – *Light Emitting Diode* (Díodo Emissor de Luz)

LFC – Lâmpadas Fluorescente Compacta

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Low-E – Películas Baixo Emissivas

Low-E– – Películas Baixo Emissivas com Baixo Ganho Solar

Low-E+ – Películas Baixo Emissivas com Elevado Ganho Solar

LU – Longas Utilizações

MU – Médias Utilizações

PC – Computador

PLC – *Power Line Communication*

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PVC – Policloreto de Polivinila

QAI – Qualidade do Ar Interior

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RECS – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

RSECE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética

SI – Sistema Internacional

TV – Televisão

tep – tonelada equivalente de petróleo

UE – União Europeia

XPS – Poliestireno Extrudido

---

## SIMBOLOGIA

$A$	– Absorção Energética Global e Área
$A_c$	– Área Visível de Caixilharia
$A_e$	– Fração de Energia Absorvida Emitida para o Exterior e Área Útil
$A_i$	– Fração de Energia Absorvida Emitida para o Interior
$A_p$	– Área Aparente
$A_s$	– Área Superficial
$A_v$	– Área Visível de Vidro
$D$	– Diâmetro
$E$	– Iluminância
$E_{dif}$	– Radiação Solar Difusa
$E_{dir}$	– Radiação Solar Direta
$EG$	– Radiação Solar Global
$E_0$	– Valor Médio Constante Solar
$g$	– Aceleração Gravítica
$GD$	– Graus-dia
$Gr_L$	– Número de Grashof
$g_{\perp}$	– Fator Solar
$h$	– Coeficiente de Transmissão Térmica Superficial
$I$	– Energia Solar Global Incidente e Intensidade Luminosa
$I_2$	– Zona Climática Inverno 2
$L$	– Luminância
$L_v$	– Perímetro de Vidro Visível
mbar	– milibar
$Nu$	– Número de Nusselt
$Pr$	– Número de Prandtl
$Q_e$	– Consumo Médio Mensal de Energia
$\dot{Q}_{conv}$	– Fluxo de Calor por Convecção
$\dot{Q}_{rad}$	– Fluxo de Calor por Radiação
$\dot{Q}_{total}$	– Fluxo de Calor Total
$R$	– Resistência Térmica e Reflexão Energética Global
$Ra_D$	– Número de Rayleigh
$R_j$	– Resistência Térmica Camada
$R_{se}$	– Resistência Térmica Superfície Externa
$R_{si}$	– Resistência Térmica Superfície Interna
$rv$	– Coeficiente de Reflexão Luminosa
$T$	– Transmissão Energética Global
$T_s$	– Temperatura Superficial
$tv$	– Coeficiente de Transmissão Luminosa
$T_{\infty}$	– Temperatura do Fluido Suficientemente Longe da Superfície
$U$	– Coeficiente de Transmissão Térmica

$U_c$  – Coeficiente de Transmissão Térmica do Caixilho

$U_h$  – Tensão Harmónica

$U_v$  – Coeficiente de Transmissão Térmica do Vidro

$V_3$  – Zona Climática Verão 3

$\Phi$  – Fluxo luminoso

$\varepsilon$  – Emissividade

$\gamma_s$  – Altura Solar

$\alpha$  – Azimute Superficial

$\alpha_s$  – Azimute Solar

$\beta$  – Inclinação Superficial e Coeficiente do Volume de Expansão

$\lambda$  – Condutibilidade Térmica

$\Psi$  – Coeficiente de Transmissão Térmica Linear

$\sigma$  – Constante de Stefan-Boltzmann

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Enquadramento

Ao longo das últimas décadas, particularmente após a revolução industrial, o planeta Terra tem vindo a registar alterações climáticas muito rapidamente e de forma significativa, quando comparado com registos mais antigos, sobretudo devido ao fato dos países industrializados terem adotado políticas de desenvolvimento económico, para aumentar o bem-estar das populações, assentes em grandes consumos energéticos e de recursos naturais. Estes fatores levaram ao lançamento descontrolado de gases indesejáveis para a atmosfera, que tão fundamental é para a existência de vida no planeta. Neste contexto, as alterações climáticas têm vindo a ser identificadas como uma das maiores ameaças ambientais, sociais e económicas que o planeta e a humanidade enfrentam na atualidade (APA, 2013).

Muitos desses gases, causadores das alterações climáticas, são igualmente poluentes atmosféricos comuns que afetam a saúde dos seus habitantes e do ambiente. Em muitos aspetos, a melhoria da qualidade do ar também pode impulsionar os esforços de mitigação das alterações climáticas e vice-versa, embora nem sempre assim seja. O desafio que se coloca consiste em assegurar que as políticas climáticas e de qualidade do ar se focalizem na criação de cenários que revertam as tendências registadas nas últimas décadas (EEA, 2013).

Como forma de começar a reverter este problema, diversos estados uniram esforços e assinaram o Protocolo de Quioto, que obriga os países desenvolvidos a limitarem a libertação de gases com efeito de estufa, sendo um dos instrumentos jurídicos internacionais mais importantes na luta contra as alterações climáticas. Este protocolo impõe um teto nas emissões para a atmosfera de gases responsáveis pelo aumento do efeito de estufa, que contribuem para o aquecimento global, do qual se destaca o CO<sub>2</sub> como o gás, com maior contributo para o aquecimento planetário, e que é libertado essencialmente através da queima de combustíveis fósseis para a produção de calor e de eletricidade, e nos transportes para a mobilidade de pessoas e bens (APA, 2013).

Devido ao contínuo crescimento da população mundial, ao desenvolvimento de novos países e à importância cada vez maior das economias emergentes, tem-se vindo a verificar um constante aumento do consumo mundial de energia ao longo das últimas décadas. Contudo, a competitividade ao nível do setor energético não deverá diminuir os esforços para fazer face às alterações climáticas. Neste sentido, foram propostas medidas pragmáticas que incluem, entre outras, melhorar a eficiência energética, limitar a construção e a utilização das centrais de produção de energia elétrica a partir do carvão, minimizar as emissões de metano no petróleo e no gás natural e reformar os subsídios aos combustíveis fósseis – que poderiam interromper a subida das emissões em 2020, sem prejudicar o crescimento económico (IEA, 2013).

Na Figura 1.1., encontra-se a evolução do consumo mundial de energia registado nos últimos anos, em milhões de tep, tendo-se registado em 2012 um valor recorde de aproximadamente

12,5 mil milhões de toneladas equivalentes de petróleo, sendo que a principal parcela continua a corresponder ao consumo de combustíveis de origem fóssil, com principal destaque para o petróleo, o carvão e o gás natural (BP, 2013).

Tendo em conta o ritmo atual de exploração, estima-se que as reservas petrolíferas conhecidas atualmente estejam na sua maioria esgotadas até ao ano de 2050, por sua vez o gás natural tem um horizonte temporal um pouco mais dilatado e a utilização em larga escala do carvão, cujas reservas são de alguns séculos, mas que por sua vez, é a mais gravosa em termos ambientais.

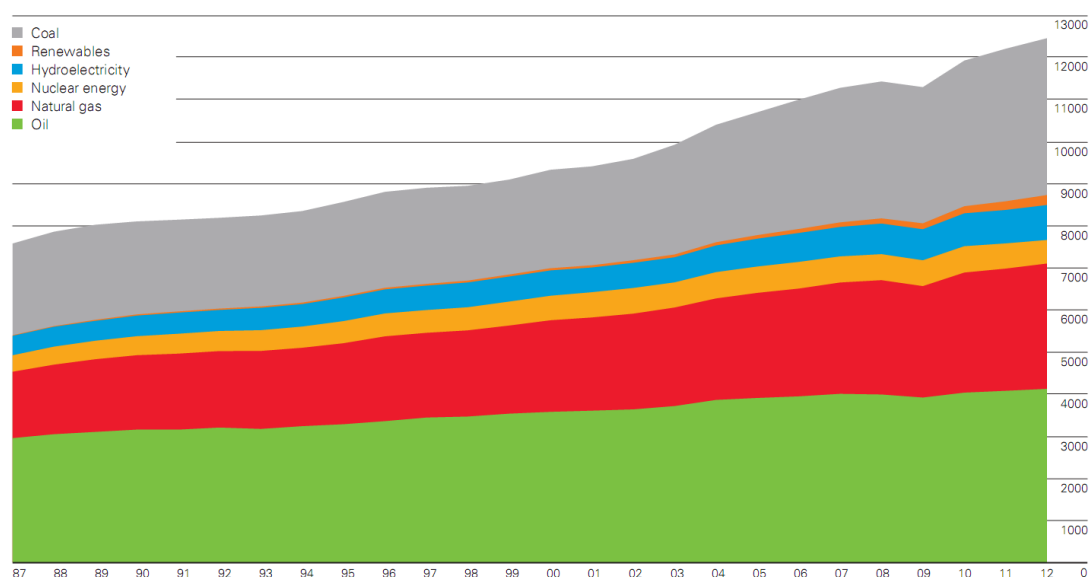


Figura 1.1. Evolução do consumo mundial de energia em milhões de tep (BP, 2013)

Na Figura 1.2., encontra-se a distribuição do consumo de energia a nível mundial, por regiões, em percentagem, relativa ao ano de 2012 (BP, 2013).

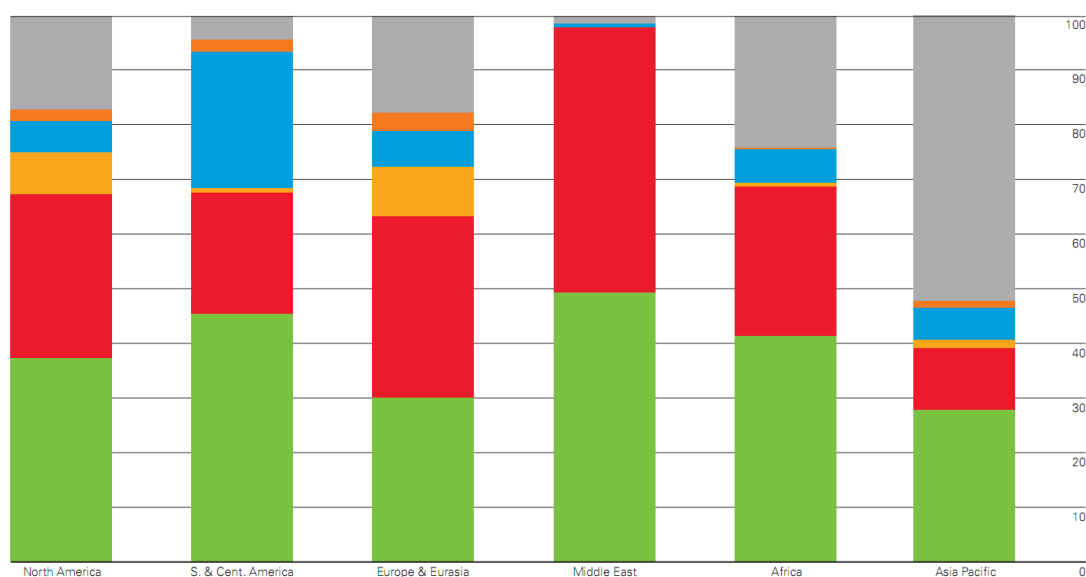


Figura 1.2. Distribuição do consumo de energia por regiões no ano de 2012 (BP, 2013)



A União Europeia (EU) tem sido uma importadora intensiva de energia com bastante relevo no panorama energético mundial, devido à sua falta de recursos naturais, e prevê-se que essa tendência se acentue, caso a produção interna de energia não seja competitiva e não se tomem medidas de racionalização de consumos.

Portugal, tal como acontece na maioria dos países da UE, é um país com poucos recursos fósseis endógenos o que faz com que a sua matriz energética seja bastante dependente dos combustíveis fósseis vindos do exterior. Esta dependência é bastante prejudicial para a economia nacional devido à grande vulnerabilidade a que o país fica sujeito devido às constantes flutuações dos preços internacionais. Isto acontece porque a matriz energética mundial é composta maioritariamente por combustíveis de origem fóssil, com principal destaque para o petróleo, existindo por isso uma grande pressão nos mercados sempre que existem flutuações significativas na produção, que a título de exemplo, pode ser a consequência de uma guerra ou de um desastre natural.

Na figura 1.3, mostra-se a evolução da dependência energética de Portugal entre os anos de 2000 e 2012 (DGEG, 2013). Verifica-se que em 2005 o país apresentou uma dependência externa de recursos energéticos de cerca de 89% estando por isso praticamente dependente das importações. Este valor está intrinsecamente relacionado com a seca ocorrida nesse mesmo ano, que conduziu a uma redução significativa da produção de energia hidroelétrica. Constata-se, igualmente, que em 2008, verificou-se uma ligeira subida da dependência energética externa, consequência do aumento substancial do preço do barril de petróleo (Figura 1.4). Nos últimos anos, como resultado da contração da economia, registou-se um abrandamento e até uma diminuição na procura de energia.

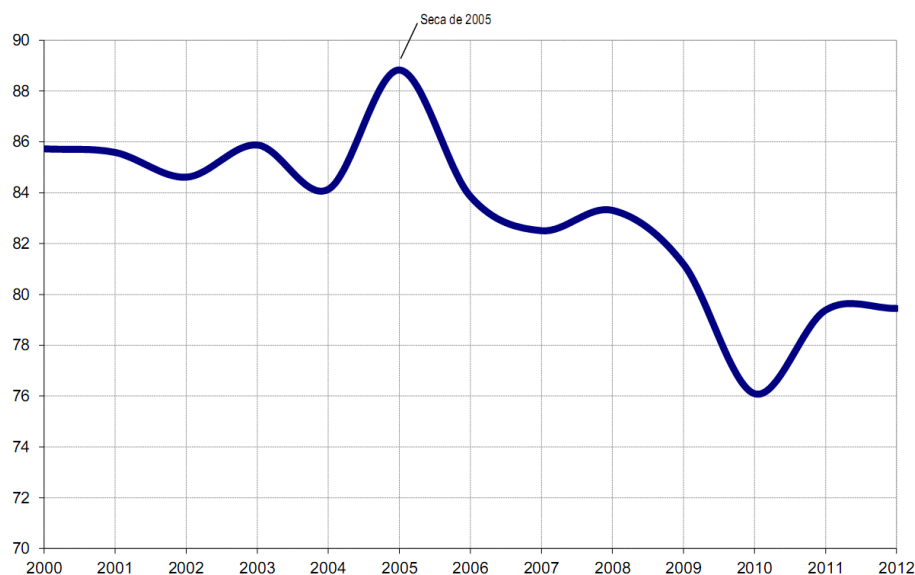


Figura 1.3. Evolução da dependência energética de Portugal, em percentagem (DGEG, 2013)

Tendo em conta esta situação desfavorável, a matriz energética em Portugal tem vindo a ser repensada, com principal incidência na utilização de recursos renováveis para geração de energia, com destaque para a hídrica, a eólica, a solar, a geotérmica e a biomassa. O problema

da aposta neste tipo de energia está no fato de serem precisos elevados investimentos iniciais que muitas vezes só se tornam viáveis através da atribuição de incentivos económicos por parte do estado.

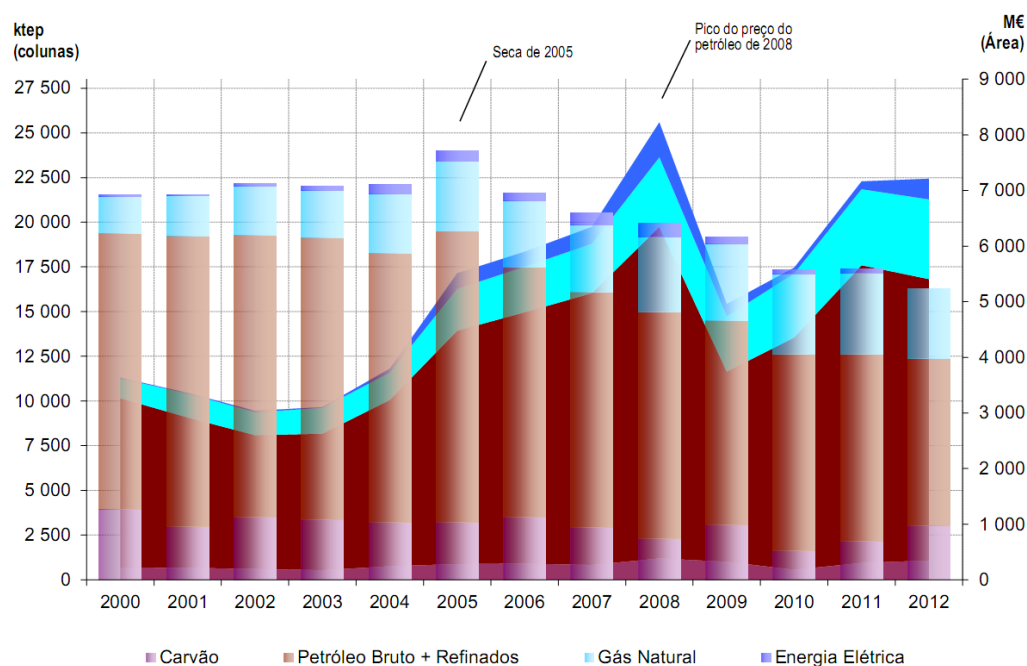


Figura 1.4. Evolução do saldo importador de produtos energéticos em Portugal (DGEG, 2013)

Na figura 1.5, mostra-se a evolução do consumo de energia primária em Portugal, o qual tem vindo a decrescer gradualmente desde 2005, com uma queda acentuada no consumo de petróleo. A partir do ano de 2008, verifica-se uma quase estagnação do consumo final de gás natural. No entanto, constata-se que ainda existe uma forte dependência do petróleo, do gás natural e do carvão.

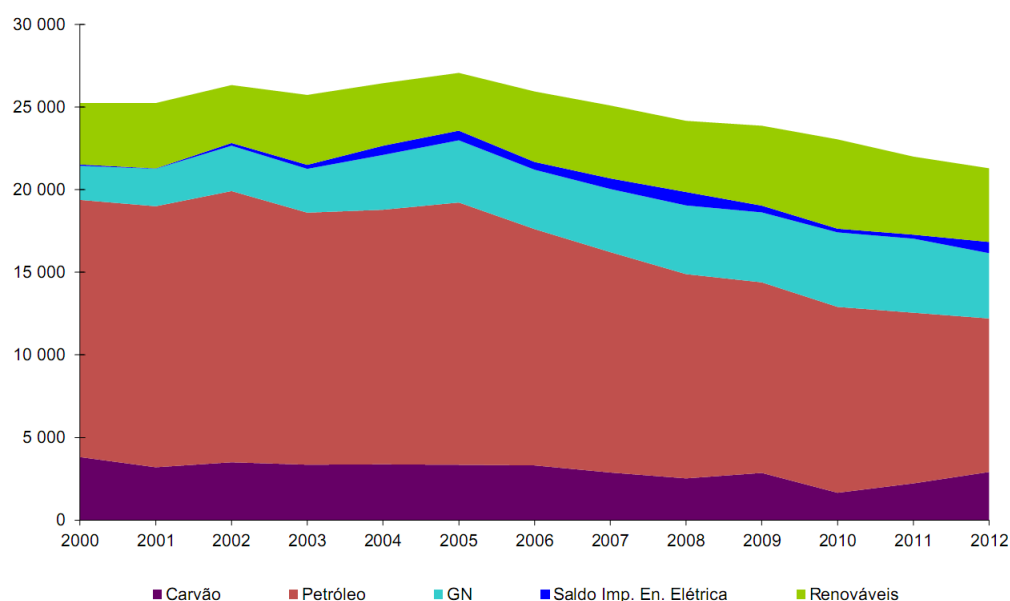


Figura 1.5. Evolução do consumo de energia primária (ktep), em Portugal (DGEG, 2013)

Outra forma de diminuir a dependência face aos mercados internacionais é através de uma utilização mais racional e eficiente da energia. Segundo dados divulgados pela Agência Internacional de Energia, é possível diminuir em pelo menos 50% as emissões de gases de efeito de estufa (GEE) até 2050 (comparadas com os níveis de 2005), sendo que o principal destaque vai para a eficiência energética que deverá ser responsável por cerca de 58% dessa diminuição (IEA, 2010).

O consumo de energia na UE está na origem de 80% das emissões de GEE, e consequentemente, para se reduzir as emissões de GEE implica um menor consumo de energia e uma maior utilização de energia limpa. Neste contexto, em Março de 2007 os líderes europeus decidiram unir esforços para tornar a Europa numa economia mais eficiente e menos poluente, e consequentemente criou-se a Estratégia 20-20-20, onde foram estabelecidas várias metas para o ano 2020, cujos grandes objetivos são a redução de pelo menos 20% na emissão de GEE em relação às emissões de 1990, a redução de 20% na utilização de energia primária através do aumento de eficiência energética e que 20% da energia consumida na UE deverá provir de energias renováveis.

Como forma de atingir os objetivos propostos, o Estado Português definiu uma nova Estratégia Nacional para a Energia, a ENE 2020, a qual engloba um conjunto alargado de programas e medidas considerados fundamentais para alcançar os objetivos da eficiência na utilização final de energia e dos serviços energéticos. A ENE 2020 define uma agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira do país, através da aposta nas energias renováveis e da promoção integrada da eficiência energética, garantindo a segurança de abastecimento e a sustentabilidade económica e ambiental do modelo económico (PCM ENE2020, 2010). Objetivos principais elencados:

- Reduzir a dependência energética de Portugal face ao exterior – passar de 83 a 85%, em média, nos últimos anos, para 74% em 2020;
- Cumprir os diferentes compromissos para 2020 assumidos por Portugal no contexto europeu – 31% de fontes de energia renovável no consumo de energia final, e a redução de 20% do consumo de energia final;
- Reduzir o saldo importador energético com a energia produzida a partir de fontes endógenas – redução de 25% face a 2008;
- Consolidar o *cluster* das energias renováveis em Portugal;
- Continuar a desenvolver os sectores associados à promoção da eficiência energética;
- Promover o desenvolvimento sustentável – criar condições para o cumprimento das metas de redução de emissões assumidas pelo País.

Segundo o “*World Business Council for Sustainable Development*”, os edifícios foram identificados como um dos cinco maiores utilizadores de energia contribuindo, na maioria dos países europeus, com cerca de 40% para o consumo da energia primária. Em Portugal, tal como acontece na maioria dos países europeus, o setor dos edifícios está entre os principais consumidores de energia. De acordo com os últimos dados divulgados pelo INE, os edifícios residenciais e de serviços são responsáveis por quase 30% da energia final e por mais de 60% de toda a energia elétrica consumida a nível nacional, o que se traduz num maior peso na

repartição da energia primária por setores e também numa maior participação nas emissões de GEE. Na figura 1.6, encontra-se a evolução do consumo de energia primária na produção de energia elétrica em Portugal e respetiva distribuição por setor (DGEG, 2013). O consumo de energia primária (CEP), representada em área, na produção de energia elétrica inclui a produção de calor em cogeração.

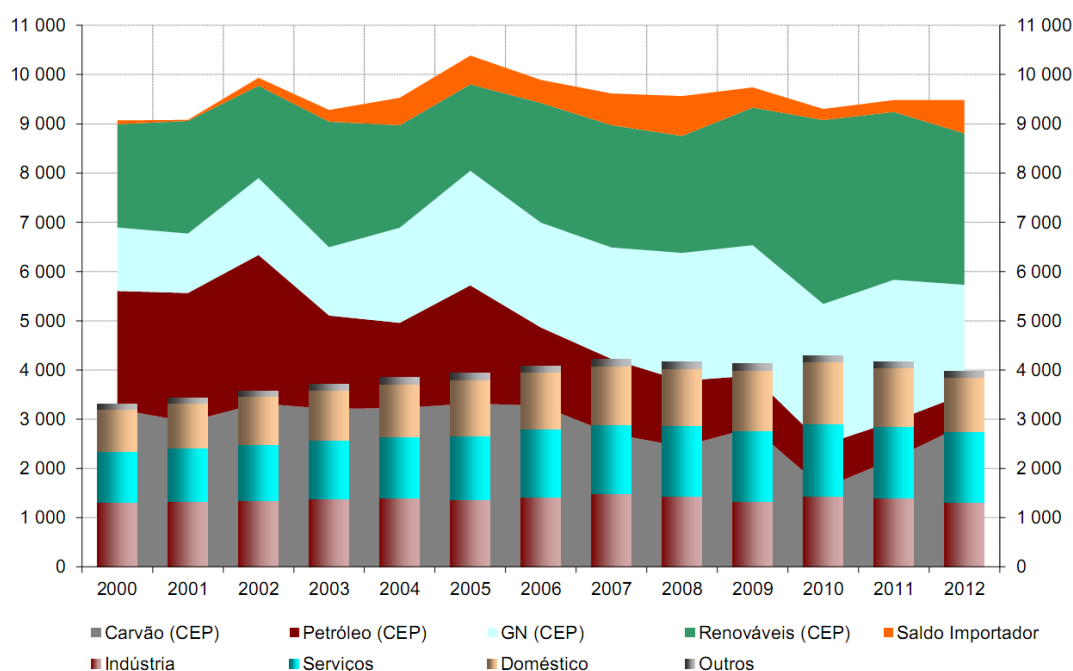


Figura 1.6. Evolução do consumo de energia primária na produção de energia elétrica (ktep) em Portugal e respetiva distribuição por setor (DGEG, 2013)

Na Figura 1.7, apresenta-se a quota do consumo de energia por setor de atividade económica, sendo o período de referência dos dados relativo a 2012 (INEa, 2013), e no qual se pode ver que os setores com maior relevância em termos de consumo energético são o setores dos transportes (35,8%), da indústria transformadora (29,7%), doméstico (16,6%) e o dos serviços (11,3%).

Analisando a contribuição de cada setor de atividade para o produto interno bruto (PIB), verifica-se que os setores primário e secundário têm vindo a perder peso nas últimas décadas para o setor terciário, normalmente menos intensivo em termos energéticos. A queda no consumo total de energia final, que se iniciou em 2005, deve-se principalmente à contração do consumo na indústria transformadora, nos serviços e na construção e obras públicas. Esta redução no consumo não traduz uma melhoria na produtividade energética, uma vez que a intensidade energética de cada um destes setores manteve-se mais ou menos inalterada na última década (Ferreira, 2013).

A produtividade energética é normalmente medida através do seguinte conjunto de indicadores: intensidade energética do rendimento (nacional, industrial e setorial); os consumos específicos da produção; a elasticidade do consumo de energia em relação ao PIB (Ferreira, 2013).

As figuras 1.8 e 1.9 mostram a distribuição do consumo de energia no setor comercial e no setor residencial, respetivamente (INEa, 2013). Consta-se que, em ambos os setores, o aquecimento e arrefecimento correspondem aos maiores consumos energéticos.

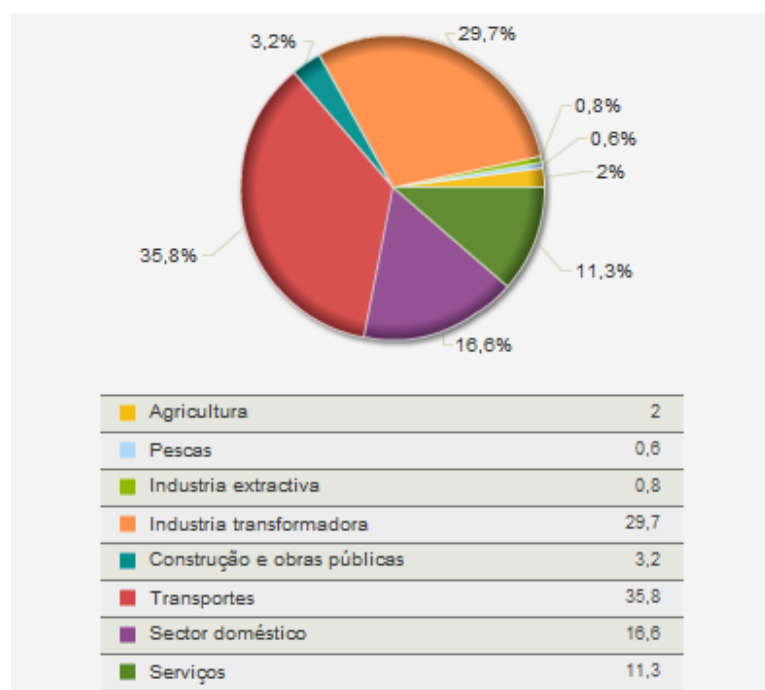


Figura 1.7. Quota do consumo de energia por setor de atividade económica (INEa, 2013)

Como forma de conseguir obter uma redução do consumo de energia através de medidas de eficiência energética (redução essa que contribuirá para o cumprimento das metas impostas pela Estratégia 20-20-20), e tendo em conta que o setor dos edifícios está entre os principais consumidores de energia, os estados membros da UE têm vindo a promover um conjunto de medidas tendo em vista o aumento da eficiência energética no setor dos edifícios. Foi neste contexto que surgiu a Diretiva n.º 2002/91/CE, de 16 de dezembro, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa ao desempenho energético dos edifícios.

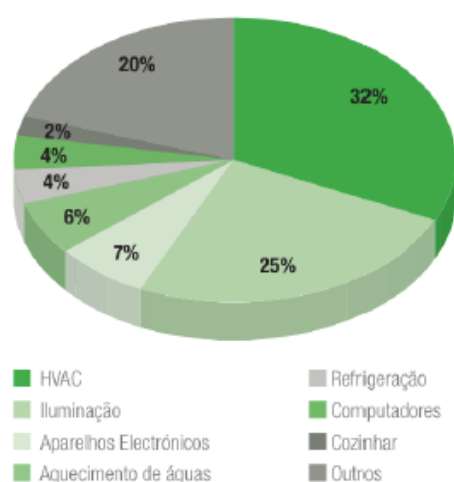


Figura 1.8. Distribuição do consumo de energia no setor comercial (INEa, 2013)

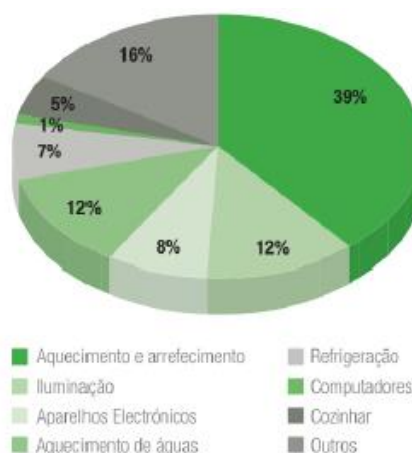


Figura 1.9. Distribuição do consumo de energia no setor residencial (INEa, 2013)

No âmbito da transposição para a ordem jurídica portuguesa desta Diretiva, foram revistos o Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios (RSECE), e foi introduzido um sistema de certificação energética de edifícios, o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE).

Em desenvolvimento do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) e da ENE 2020, o estado português criou o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública — Eco.AP, que visa obter até 2020, nos serviços públicos e nos organismos da Administração Pública, um nível de eficiência energética na ordem dos 20%, face aos atuais valores. Nestes objetivos, enquadra-se também a utilização racional de energia e a eficiência energético-ambiental em equipamentos de iluminação pública.

Recentemente, foi publicada a Diretiva n.º 2012/27/EU, de 14 de novembro, do Parlamento Europeu e do Conselho, relativa à eficiência energética. Esta diretiva estabelece um quadro comum de medidas de promoção da eficiência energética na UE, a fim de assegurar a realização do objetivo da UE, que consiste em atingir 20% em matéria de eficiência energética até 2020, e de preparar o caminho para novas melhorias nesse domínio após esta data (Ferreira, 2013).

Os serviços de auditoria energética são um fator fundamental para a promoção da eficiência energética e um primeiro passo para uma estratégia mais abrangente ao nível da gestão de energia.

## **1.2. Objetivos**

O presente trabalho de projeto tem por objetivo elaborar uma Auditoria Energética num edifício escolar, no âmbito do Mestrado em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia, na área de especialização de Sistemas de Energia e Automação, ministrado pelo Departamento de Engenharia Eletrotécnica, do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, e é parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre nesta área de conhecimento.

Os edifícios escolares são edifícios de serviços com um ambiente de trabalho particular, nomeadamente ao nível do horário de funcionamento e ocupação dos diferentes espaços. A utilização eficiente da energia nestes edifícios está dependente de uma gestão correta das instalações e de uma manutenção adequada. Nos edifícios escolares existentes, muitas vezes encontram-se sistemas não otimizados em termos de consumo de energia. Por outro lado, no projeto dos edifícios escolares, o objetivo de obter uma boa qualidade ambiental interior nem sempre foi considerado como prioritário. No entanto, a escola é o lugar onde os estudantes, professores e funcionários passam uma boa parte do dia, pelo que um ambiente saudável e confortável é fundamental para o seu bem-estar e a sua produtividade.

A proposta de trabalho de projeto corresponde a uma Auditoria Energética à Escola Secundária de Pedro Ferreiro do Agrupamento de Escolas de Ferreira do Zêzere.

A escola situa-se na vila de Ferreira do Zêzere e tem uma população escolar de, aproximadamente, 600 alunos distribuídos entre o quinto e o décimo segundo anos. É constituída por um único edifício, numa tipologia de construção pouco comum. O edifício é composto por um corpo central com mais de quarenta salas de aula, entre as quais se contam três salas de Informática, três salas de Ciências, três de Educação Visual e Tecnológica e uma de Visual. Possui refeitório, bufete, sala de convívio, biblioteca e um auditório. Dentro do espaço da escola há um Pavilhão Gimnodesportivo e um centro de Ocupação Juvenil.

Uma Auditoria Energética consiste no estudo das condições de utilização de energia na instalação e na identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético e tem por objetivos principais: determinar as formas de energia utilizadas; examinar o modo como a energia é utilizada e os respetivos custos; estabelecer a estrutura do consumo de energia; determinar os consumos por processo, operação ou equipamento; relacionar o consumo de energia com a produção e/ou com o nível de funcionamento da instalação; identificar as possibilidades de melhoria dos rendimentos energéticos; estabelecer metas de consumo de energia sem alterações de processo; propor um programa para as ações e investimentos a empreender; propor, se inexistente, um esquema operacional, de gestão de energia na Escola. Com base na Auditoria Energética será possível identificar as medidas de utilização racional de energia, resultantes de situações existentes de ineficiência energética detetadas.

### **1.3. Estrutura do Documento**

O presente trabalho encontra-se dividido em seis capítulos.

Capítulo 1 – No primeiro capítulo faz-se o enquadramento geral do trabalho, apresentam-se os objetivos propostos e a estrutura do documento.

Capítulo 2 – No segundo capítulo são apresentados alguns conceitos fundamentais para a realização do presente trabalho, nomeadamente sobre auditorias energéticas, construção bioclimática, painéis solares térmicos, envidraçados e iluminação artificial. São ainda referidas as principais diretivas europeias, normas e legislação, tanto a nível nacional como internacional, relativas à eficiência energética em edifícios, bem como os programas operacionais mais relevantes deste setor.

Capítulo 3 – No terceiro capítulo é realizada a caracterização das instalações da escola relativamente à sua localização geográfica e respetiva distribuição na mesma.

Capítulo 4 – No quarto capítulo são apresentadas as principais lacunas identificadas nas instalações, é efetuada a caracterização energética das mesmas, fazendo-se a discriminação dos diferentes tipos de energia utilizada e dos consumos energéticos, sendo identificadas as principais cargas consumidoras de energia.

Capítulo 5 – No quinto capítulo é feita uma análise dos resultados obtidos, são apresentadas propostas de melhoria das instalações atuais da escola, de forma a tornar o

edifício mais eficiente. Relativamente a cada proposta, é indicado o respetivo tempo de retorno dos investimentos identificados como fundamentais.

Capítulo 6 – Finalmente, no sexto capítulo são apresentadas as principais conclusões relativas ao trabalho realizado e propostas de trabalhos futuros.



## 2. AUDITORIA ENERGÉTICA EM CENTROS ESCOLARES

### 2.1. Conceitos gerais

As auditorias energéticas devem ser entendidas como estudos integrais mediante os quais se analisa a situação energética de um edifício e as instalações nele contidas, e que através da análise e comparação de várias alterações, ações e modificações realizáveis, busca a realização de um conjunto harmonioso e ideal de soluções que proporcionem uma redução nos gastos com energia, uma melhoria dos serviços prestados, uma maior durabilidade dos equipamentos e o aumento da sensação de conforto dos utilizadores.

Este último ponto é muito importante, porque apesar das soluções técnicas e económicas poderem parecer a causa fundamental deste tipo de trabalho, não se pode esquecer que existem seres humanos como os utilizadores finais dos edifícios e que devem ser a razão principal de qualquer ação que se tome. Assim, o objetivo básico da auditoria energética será propor soluções racionais destinadas a conseguir uma utilização mais eficiente dos recursos energéticos disponíveis, de forma a melhorar as condições de conforto dos edifícios escolares, com a redução dos custos de operação e manutenção.

Os trabalhos da auditoria energética, a partir do ponto de vista temporal, podem ser realizados em três etapas bem distintas, isto é, são realizados trabalhos de otimização a nível energético, desde a fase de projeto do edifício escolar, durante a sua etapa de construção e com o edifício já em pleno funcionamento. Esta última fase, apesar de ser a menos desejável das três etapas referidas, é geralmente a mais comum de todas.

É evidente que a realização de uma auditoria energética, tanto no seu planeamento, como na sua execução, varia consoante a realização em cada uma das etapas identificadas. Igualmente, as soluções, perspetivas e possibilidades de poupança, bem como os custos da sua aplicação, serão diferentes em cada um dos cenários referidos, embora os objetivos finais da auditoria permaneçam inalterados.

Desta forma, entenda-se que as principais fundações ou pilares para fundamentar e sustentar uma auditoria energética de um edifício escolar são:

- Introdução e/ou aumento da utilização de energias renováveis,
- Substituição de fontes de energia obsoletas e sistemas com baixa eficiência energética,
- Estudo detalhado do edifício, com especial atenção para a sua envolvente e isolamento térmico,
- Estudo das instalações e equipamentos existentes, realizando medições e registos dos seus principais parâmetros de funcionamento,
- Avaliação de parâmetros térmicos e elétricos,
- Análise do cenário ambiental envolvente, de forma a introduzir soluções bioclimáticas,
- Estudo de técnicas alternativas para a produção de energia no edifício,
- Análise económica das soluções propostas.

Através de uma série de ações previamente estabelecidas, numa auditoria energética conseguir-se-á obter de forma fiável a realidade energética do edifício escolar, podendo então propor as melhores soluções, nos campos sob objeto de estudo, que serão principalmente:

- Análise construtiva do edifício no seu geral, com principal destaque/incidência para a envolvente térmica,
- Estudo de áreas verdes ou comuns para o seu potencial aproveitamento energético,
- Horas de ocupação do edifício escolar,
- Sistemas térmicos, mecânicos e elétricos (produtores e consumidores),
- Sistemas de HVAC (*Heating, Ventilating, and Air Conditioning*) – aquecimento e refrigeração,
- Sistemas de produção, gestão e fornecimento de AQS (Águas Quentes Sanitárias),
- Sistemas de ventilação,
- Sistemas de iluminação.

#### **2.1.1. Metodologia**

Como mencionado anteriormente, a organização prévia das tarefas que englobam uma auditoria energética e a realização ordenada das mesmas é a primeira das premissas para o sucesso desta. A metodologia operacional utilizada na realização da auditoria energética ao estabelecimento de ensino, que se encontra em pleno funcionamento, assenta em quatro fases.

Primeira fase – Recolha e tratamento da informação, histórico das faturas de energia, realização de um estudo abrangente do ambiente em torno do estabelecimento de ensino, análise da localização, infraestruturas, climatologia, legislação aplicável, entre outros tópicos relevantes, bem como a recolha de informação sobre as tecnologias mais eficientes disponíveis no mercado com aplicação no edifício. Também se inclui nesta fase a realização de procedimentos e autorizações de acesso, ao estabelecimento de ensino, para a realização dos trabalhos.

Segunda fase – Nesta fase devem ser efetuadas diversas visitas às instalações da escola. Deverá ser feito um exame pormenorizado às condições de utilização de energia para verificar onde e como é usada e avaliar tecnicamente as possibilidades de reduzir o seu consumo, sem afetar os parâmetros de utilização do edifício. Para atingir estes objetivos será necessário: recolher informação básica e fazer o inventário geral das instalações; identificar as fontes e os consumos energéticos, as principais áreas consumidoras, a capacidade instalada, horas de operação; efetuar medições pontuais, nomeadamente de temperatura e iluminância e recolha de imagens fotográficas. Ainda nesta fase deverá ser instalado um analisador de redes trifásicas, para se fazer a monitorização da rede.

Terceira fase – Nesta fase procede-se à análise e tratamento de dados. A informação recolhida nas fases precedentes deverá ser alvo de tratamento, nomeadamente para obter os diagramas de carga. Com a informação recolhida ser possível solicitar orçamentos, justificar opções e tirar conclusões, fazer estudos diversos, confirmar oportunidades de racionalização de consumos e documentar o trabalho.

Quarta fase – Nesta última fase, com base na informação recolhida e tratada nas fases anteriores e nos orçamentos recebidos das empresas, foi elaborada uma relação de oportunidades de racionalização de consumos, com aplicação relevante no edifício, sendo calculado o respetivo retorno do investimento.

## **2.2. Legislação**

### **2.2.1. Diretiva 2002/91/CE (EPBD)**

A Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro de 2002, relativa ao desempenho energético dos edifícios (EPBD, *Energy Performance in Buildings Directive*), teve por objetivo promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios na comunidade, tendo em conta as condições climáticas externas e as condições locais, bem como as exigências em matéria de clima interior e a rentabilidade económica (Diretiva 2002/91/CE). A presente Diretiva estabelece requisitos em matéria de:

- 1 - Enquadramento geral para uma metodologia de cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios,
- 2 - Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos novos edifícios,
- 3 - Aplicação de requisitos mínimos para o desempenho energético dos grandes edifícios existentes que sejam sujeitos a importantes obras de renovação,
- 4 - Certificação energética dos edifícios,
- 5 - Inspeção regular de caldeiras e instalações de ar condicionado nos edifícios e, complementarmente, avaliação da instalação de aquecimento quando as caldeiras tenham mais de 15 anos.

A 04 de abril de 2006 foram publicados em Diário da República (DR 67, Série I – A) três diplomas que transpõem, parcialmente, para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2002/91/CE.

Estes diplomas contemplam importantes alterações legislativas e dos hábitos de projeto no setor dos edifícios, tais como: aprovação da criação do Sistema Nacional de Certificação energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (DL n.º 78/2006), que se responsabiliza pela aplicação dos regulamentos térmicos para edifícios - o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios – RSECE (DL n.º 79/2006) e o Regulamento das Características do Comportamento Térmico de Edifícios – RCCTE (DL n.º 80/2006), que sofreram atualizações e uma nova redação (LISBOA E-NOVA, 2013).

### **2.2.2. Decreto-Lei n.º 78/2006 de 4 de abril (SCE)**

Este diploma aprova o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE). A Certificação Energética permite dar informação sobre mais um conjunto de aspetos importantes para a caracterização dos edifícios, nomeadamente os consumos de energia dos edifícios e os respetivos custos energéticos durante o funcionamento normal do mesmo (LISBOA E-NOVA, 2013).

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior tem como finalidade os seguintes objetivos:

- 1 - Assegurar a aplicação regulamentar, nomeadamente no que respeita às condições de eficiência energética, à utilização de sistemas de energias renováveis e, ainda, às condições de garantia do ar interior, de acordo com as exigências e disposições contidas no RCCTE e no RSECE,
- 2 - Certificar o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios,
- 3 - Identificar as medidas corretivas ou de melhoria de desempenho aplicáveis aos edifícios e respetivos sistemas energéticos, nomeadamente caldeiras e equipamentos de ar condicionado, quer no que respeita ao desempenho energético, quer no que respeita à qualidade do ar interior (DL SCE, 2006).

A Certificação Energética será obrigatória para os seguintes edifícios: todos os novos edifícios a construir ou aqueles sujeitos a grandes intervenções de reabilitação, nos termos do RSECE e do RCCTE; edifícios de serviços existentes, sujeitos a auditorias periódicas, conforme especificado no RSECE; edifícios existentes, para habitação e para serviços, aquando da celebração de contratos de venda ou aluguer (LISBOA E-NOVA, 2013).

### **2.2.3. Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 abril (RSECE)**

Este diploma aprova o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE), que é mais orientado para os edifícios de serviços. A preocupação básica neste diploma é atuar ao nível dos edifícios com climatização e com consumos de energia elevados, moderando-os e melhorando a qualidade dos sistemas energéticos nesses edifícios. Este diploma aumenta ainda as exigências ao nível do dimensionamento e manutenção das instalações de equipamentos e seu funcionamento, e das auditorias à qualidade do ar interior em edifícios climatizados. Para além disso, com o novo RSECE, há também um aumento do grau de exigência de formação profissional dos técnicos que possam vir a ser responsáveis pela verificação dos requisitos a cumprir com este diploma (LISBOA E-NOVA, 2013).

O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios tem como finalidade os seguintes objetos:

- 1 - As condições a observar no projeto de novos sistemas de climatização, nomeadamente:
  - Os requisitos em termos de conforto térmico e de qualidade do ar interior e os requisitos mínimos de renovação e tratamento de ar que devem ser assegurados em condições de eficiência energética, mediante a seleção adequada de equipamentos e a sua organização em sistemas,
  - Os requisitos em termos da conceção da instalação e do estabelecimento das condições de manutenção a que devem obedecer os sistemas de climatização, para garantia de qualidade e segurança durante o seu funcionamento normal,

- A observância dos princípios da utilização racional da energia e da utilização de materiais e tecnologias adequados em todos os sistemas energéticos do edifício, na ótica da sustentabilidade ambiental;
- 2 - Os limites máximos de consumo de energia nos grandes edifícios de serviços existentes;
- 3 - Os limites máximos de consumos de energia para todo o edifício e, em particular, para a climatização, previsíveis sob condições nominais de funcionamento para edifícios novos ou para grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes que venham a ter novos sistemas de climatização abrangidos pelo presente regulamento, bem como os limites de potência aplicáveis aos sistemas de climatização a instalar nesses edifícios;
- 4 - As condições de manutenção dos sistemas de climatização, incluindo os requisitos necessários para assumir a responsabilidade pela sua condução;
- 5 - As condições de monitorização e de auditoria de funcionamento dos edifícios em termos dos consumos de energia e da qualidade do ar interior;
- 6 - Os requisitos, em termos de formação profissional, a que devem obedecer os técnicos responsáveis pelo projeto, instalação e manutenção dos sistemas de climatização, quer em termos da eficiência energética, quer da QAI (DL RSECE, 2006).

#### **2.2.4. Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 abril (RCCTE)**

Este diploma aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), que é mais orientado para os edifícios de habitação e de serviços sem sistemas de climatização centralizados. Este diploma é mais exigente que a versão anterior, no que respeita ao cálculo das necessidades de aquecimento e arrefecimento e na verificação efetiva e sistemática dos requisitos regulamentares. Este diploma apresenta uma estratégia para a definição de um valor limite das Necessidades Energéticas, englobando aquecimento, arrefecimento e preparação das AQS em função da tipologia dos edifícios e da zona climática. A obrigatoriedade de painéis solares térmicos, dependendo dos casos, está contemplada neste diploma, no entanto, está ausente a referência aos requisitos necessários para a sua integração urbanística e aos aspetos de sustentabilidade ambiental ligados ao fabrico dos mesmos (LISBOA E-NOVA, 2013).

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios tem como finalidade os seguintes objetivos:

- 1 - As exigências de conforto térmico, seja ele de aquecimento ou de arrefecimento, e de ventilação para garantia de qualidade do ar no interior dos edifícios, bem como as necessidades de água quente sanitária, possam vir a ser satisfeitas sem dispêndio excessivo de energia;
- 2 - Sejam minimizadas as situações patológicas nos elementos de construção provocadas pela ocorrência de condensações superficiais ou internas, com potencial impacto negativo na durabilidade dos elementos de construção e na qualidade do ar interior (DL RCCTE, 2006).

#### **2.2.5. Portaria n.º 461/2007**

Devido à necessidade de calendarização da aplicação do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior aos vários tipos de edifícios, foi publicada a Portaria n.º 461/2007, a 5 de junho no Diário da República, e que define o seguinte:

- 1 - A calendarização da aplicação do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior aos edifícios segundo a sua tipologia, finalidade e área útil, prevista no Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, é feita em três fases;
- 2 - Estarão abrangidos pelo SCE, nos termos do Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, os novos edifícios destinados à habitação com área útil superior a 1000 m<sup>2</sup> e os edifícios de serviços, novos ou que sejam objeto de grandes obras de remodelação, cuja área útil seja superior aos limites mínimos estabelecidos nos n.º 1 ou 2 do artigo 27.º do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 79/2006, de 4 de abril, de 1000 m<sup>2</sup> ou de 500 m<sup>2</sup>, consoante a respetiva tipologia, cujos pedidos de licenciamento ou autorização de edificação sejam apresentados à entidade competente a partir de 1 de julho de 2007;
- 3 - Ficaram abrangidos pelo SCE, nos termos do Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril, todos os edifícios novos, independentemente da sua área ou fim, cujos pedidos de licenciamento ou autorização de edificação sejam apresentados à entidade competente a partir de 1 de julho de 2008;
- 4 - A terceira fase teve início a 1 de janeiro de 2009, alargando-se a aplicação do SCE a todos os edifícios, nos termos do disposto no Decreto-Lei n.º 78/2006, de 4 de abril (Portaria n.º 461/2007).

#### **2.2.6. Diretiva 2010/31/UE (EPBD)**

A Diretiva n.º 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, aprovada a 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, veio reformular o regime estabelecido pela Diretiva n.º 2002/91/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 16 de dezembro. Esta Diretiva vem clarificar alguns dos princípios do texto inicial e introduzir novas disposições que visam o reforço do quadro de promoção do desempenho energético nos edifícios, à luz das metas e dos desafios acordados pelos Estados-Membros para 2020 (Diretiva 2010/31/EU).

Um dos desafios estabelecidos por esta Diretiva é que a partir de 31 de dezembro de 2020, todos os edifícios novos devem ter necessidades quase nulas de energia e os edifícios novos ocupados e detidos por autoridades públicas devem cumprir os mesmos requisitos após 31 de dezembro de 2018.

#### **2.2.7. Decreto-Lei n.º 118/2013, de 20 de agosto**

A transposição para o direito nacional da Diretiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio, gerou a oportunidade de melhorar a sistematização e o âmbito de

aplicação do sistema de certificação energética e respetivos regulamentos, bem como de alinhar os requisitos nacionais às imposições explicitamente decorrentes da mesma. Assim, o presente diploma assegura não só a transposição da Diretiva em referência, mas também uma revisão da legislação nacional, que se consubstancia em melhorias ao nível da sistematização e âmbito de aplicação ao incluir, num único diploma, o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) (DL SCE, 2013).

A atualização da legislação nacional existente envolve alterações a vários níveis, com destaque, em primeiro lugar, para as modificações estruturais e de sistematização, pela aglutinação, num só diploma, de uma matéria anteriormente regulada em três diplomas distintos, procedendo-se, assim, a uma reorganização significativa que visa promover a harmonização conceptual e terminológica e a facilidade de interpretação por parte dos destinatários das normas. Em segundo lugar, a separação clara do âmbito de aplicação do REH e do RECS, passando aquele a incidir, exclusivamente, sobre os edifícios de habitação e este último sobre os de comércio e serviços, facilita o tratamento técnico e a gestão administrativa dos processos, ao mesmo tempo que reconhece as especificidades técnicas de cada tipo de edifício naquilo que é mais relevante para a caracterização e melhoria do desempenho energético (DL SCE, 2013).

#### **2.2.8. Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE)**

O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE) é um plano de ação agregador de um conjunto de programas e medidas de eficiência energética, num horizonte temporal que se estende até ao ano de 2015. O PNAEE abrange quatro áreas específicas, objeto de orientações de cariz predominantemente tecnológico: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado. Adicionalmente estabelece áreas transversais de atuação: Comportamentos, Fiscalidade, Incentivos e Financiamentos. Cada uma das áreas referidas agrega um conjunto de programas, que integram de uma forma coerente um vasto leque de medidas de eficiência energética, orientadas para a procura energética.

A área Estado é agrupada num programa designado por Eficiência Energética no Estado, com um conjunto de medidas dirigidas aos edifícios e frotas de transporte do Estado, à iluminação pública e à negociação centralizada de energia na administração central e local (RCM PNAEE, 2008).

#### **2.2.9. ECO.AP**

Tendo em vista o desenvolvimento do PNAEE e da ENE 2020, o governo lançou pela Resolução do Conselho de Ministros n.º2 de 2011 o Programa de Eficiência Energética na Administração Pública — ECO.AP, que é um programa evolutivo que se traduz num conjunto de medidas de eficiência energética para execução a curto, médio e longo prazos nos serviços, organismos e equipamentos públicos e que visa criar condições para o desenvolvimento de

uma política de eficiência energética na Administração Pública, designadamente nos seus serviços, edifícios e equipamentos, de forma a alcançar um aumento da eficiência energética de 20% até 2020 (RCM ECO.AP, 2011).

Este programa possui também a responsabilidade de criar os barómetros de eficiência energética da Administração Pública, até ao final do primeiro semestre de 2011, promover um programa de aumento da eficiência energética na iluminação pública e gerir/averiguar as medidas de eficiência energética aplicadas na Administração Pública até ao final de 2013.

#### **2.2.10. EN 12464-1**

A norma europeia EN 12464-1 é uma norma para aplicações de iluminação e que rege a iluminação em locais de trabalho interiores na qual são estabelecidos os níveis de iluminância recomendáveis. Tal como acontece com a maioria das normas, são estabelecidos requisitos mínimos. Por outras palavras, definem-se as obrigações mínimas que a iluminação de um local de trabalho e do ambiente diretamente relacionado com o mesmo tem de cumprir.

A norma também especifica que o consumo energético é importante no momento da conceção de uma solução de iluminação, pois os requisitos de iluminação devem ser cumpridos sem o desperdício de energia. No entanto, não se deve comprometer os aspetos visuais de uma instalação de iluminação apenas para reduzir o consumo energético.

A norma recomenda a utilização de luz natural, pois permite aumentar o rendimento dos sistemas de iluminação, e não esquecendo que a maioria das pessoas prefere ter contato visual com o mundo exterior.

Na escolha de luminárias e respetivos componentes, a norma estabelece que é necessário ter em conta o seguinte:

- 1 - Tipo de lâmpada em função da reprodução de cores, temperatura de cor, capacidade de regulação, comportamento de arranque, rendimento da lâmpada, depreciação, entre outros fatores;
- 2 - Índice de reprodução de cor - a norma especifica um índice mínimo para praticamente todas as tarefas;
- 3 - A escolha de uma determinada temperatura de cor da fonte da luz em função da psicologia, estética e sensação transmitida;
- 4 - Escolha do tipo de balastro;
- 5 - Proteção mínima da lâmpada para evitar o encadeamento, sendo neste sentido que a norma especifica um ângulo de proteção mínimo em função da luminância de uma determinada lâmpada.

A tabela com os dados referentes às instalações escolares definidos por esta norma encontra-se no Anexo I.



### 2.3. Poluição Harmónica

Durante algumas décadas, a grande maioria dos equipamentos que se encontravam ligados às redes de energia elétrica, resumiam-se a cargas lineares. Por esta razão, e uma vez que as tensões de alimentação eram puramente sinusoidais, as correntes consumidas eram igualmente sinusoidais e da mesma frequência, existindo apenas haver um desfasamento relativamente à tensão.

Com o desenvolvimento da eletrónica, nomeadamente da eletrónica de potência, surgiu uma evolução nos equipamentos ligados aos sistemas elétricos, como é o caso das lâmpadas fluorescentes, computadores, servidores, unidades de ar condicionado, variadores de velocidade, retificadores estáticos, fornos micro-ondas, TV, entre outras, e que levou a uma melhoria nestes equipamentos em termos de rendimento, controlabilidade e custo. Contudo, estes equipamentos não funcionam como cargas lineares, consumindo correntes não-sinusoidais, e dessa forma provocando a poluição da rede elétrica com o aparecimento de harmónicos.

O aparecimento de harmónicos nas redes origina um aumento das perdas relacionadas com o transporte e distribuição de energia elétrica, problemas de interferências com sistemas de comunicação e na degradação do funcionamento da maior parte dos equipamentos ligados à rede, com principal destaque para aqueles que são mais sensíveis por incluírem sistemas de controlo microeletrónicos que operam com níveis de energia muito baixos (Martins, 2003).

As formas de onda não-sinusoidal, que surgem nos sistemas elétricos podem ser decompostas numa onda (sinusoidal) fundamental e num número de componentes harmónicas de ordem par e ímpar. Num sistema de elétrico, o ideal é que todas as ondas de tensões e correntes sejam sinusoidais e com uma única frequência (50 Hz). Porém, nos sistemas de distribuição pública atuais, as tensões e correntes existentes não são puramente sinusoidais, embora em regime permanente sejam periódicas  $f(t+T) = f(t)$ . Estas funções repetitivas podem ser vistas como uma série de componentes, denominados de harmónicos, cujas frequências são inteiros múltiplos da frequência do sistema elétrico (50 Hz). Tendo em conta este sistema, a segunda harmónica será de 100 Hz, e assim sucessivamente (Skvarenina, 2002).

Num sistema trifásico, estão basicamente presentes harmónicos ímpares. Considerando um sistema equilibrado à frequência fundamental (50 Hz), as correntes anulam-se no neutro. Os harmónicos de ordem 2 (100 Hz) das correntes de fase têm um desfasamento de 120° entre si, pelo que se anulam no neutro, acontecendo o mesmo com todos os harmónicos de ordem par das correntes que não sejam simultaneamente triplos. Os harmónicos de ordem 3 (150 Hz) das correntes são iguais e estão em fase, aparecendo sobrepostos, logo são somadas no neutro. A corrente no neutro é então a soma das três correntes nas linhas devido ao terceiro harmónico. O mesmo acontece com todos os harmónicos de ordem ímpar, que sejam múltiplos de três (9°, 15°, ...). Nos demais casos de harmónicos de ordem ímpar (5°, 7°, ...) as correntes têm a mesma intensidade nas linhas, mas não estão em fase, o que leva a que no neutro sejam maiores do que a corrente numa linha e inferiores ao triplo da corrente em cada uma das linhas (Skvarenina, 2002).

A forma de onda da tensão ou da intensidade de corrente num dado ponto de uma instalação elétrica pode ter o aspeto do sinal  $T$  representado na figura 2.1. Observando essa situação, verifica-se que o sinal  $T$  corresponde à soma ponto a ponto dos sinais 1 e 5, formados por senóides perfeitas de amplitudes e frequências diferentes, designadas por harmónicas.

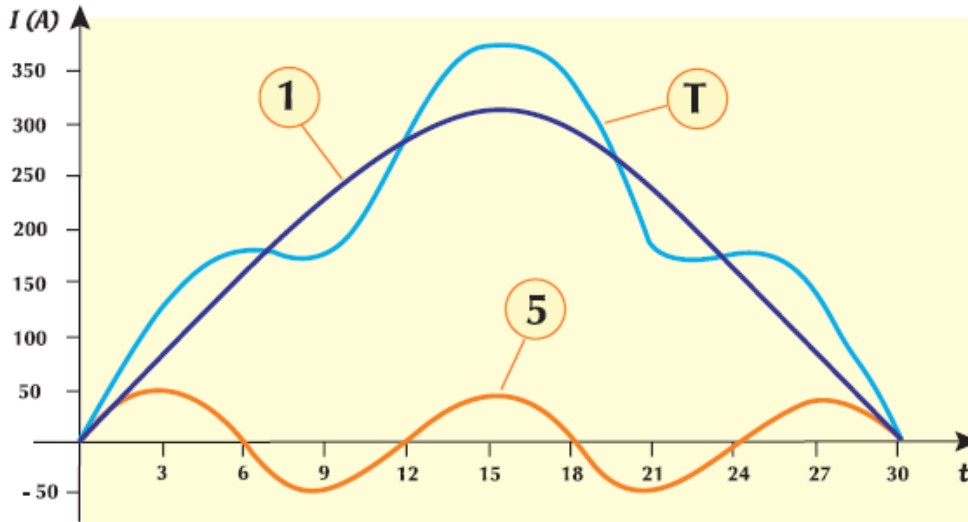


Figura 2.1. Harmónicos (Moreno, 2001).

### 2.3.1. Distorção Harmónica Total ( $DHT$ )

Como os harmónicos (ou componentes harmónicas) causam problemas na qualidade da energia elétrica, é necessária a sua regulamentação através de normas que possam assegurar o nível máximo de harmónicos permitidos. Para tal, é necessário que sejam utilizados indicadores para se proceder à sua quantificação e análise dos efeitos das componentes harmónicas.

A  $DHT$  é o indicador mais utilizado para quantificar as componentes harmónicas, sendo adotado como parâmetro pelas principais referências a nível mundial na área da qualidade de energia elétrica. A norma EN 50160 indica os limites ou valores característicos da tensão que um cliente tem o direito de esperar, sendo definido na norma as várias grandezas, nomeadamente a  $DHT$ , em valor percentual, que é igual à raiz quadrada do somatório dos quadrados das diversas componentes em percentagem da fundamental, tal como apresentado na equação:

$$DHT = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1} \quad (2.1)$$

O termo  $U_h$  corresponde à tensão harmónica para a qual “ $h$ ” é a ordem do harmónico. De acordo com a referida norma, a distorção harmónica total da tensão de alimentação (incluindo os harmónicos até à ordem 40) não deve ultrapassar os 8% (NP EN 50160, 2010).

É importante entender que a *DHT* pode ser calculada para corrente ou tensão e que só por si não é uma informação completa, uma vez que o seu valor apenas não é suficiente para quantificar a influência das componentes harmónicas presentes no local de medição do sistema. É necessário analisar o valor da *DHT* e o valor da amplitude da tensão ou corrente para se avaliar as distorções e os efeitos das componentes harmónicas naquele local.

### 2.3.2. Filtros de Compensação

Quando os requisitos estipulados pela norma NP EN 50160:2010, para os limites da *DHT* não estão a ser cumpridos numa determinada instalação eléctrica torna-se necessária a implementação de medidas que visem a redução dos valores da *DHT*. Estes valores estão diretamente relacionados e dependentes da redução ou eliminação das correntes harmónicas predominantes na instalação eléctrica. Com o objetivo de controlar essas componentes harmónicas indesejadas, existem atualmente diversas soluções, das quais se destacam, de uma forma genérica, os filtros de compensação passiva e os filtros de compensação ativa.

A instalação de filtros passivos, de cabos de média secção em paralelo e a ligação das cargas poluidoras a um transformador de isolamento, embora de difícil implementação, seriam as melhores soluções para o problema. Este tipo de soluções é específico da instalação existente, o que significa que a supressão ou instalação de um novo equipamento pode anular o investimento inicial.

A instalação de filtros de compensação ativa são atualmente a melhor forma conhecida para a neutralização dos efeitos da poluição harmónica. Estes filtros correspondem a sistemas eletrónicos de potência que podem ser instalados em série ou em paralelo com as cargas não-lineares, visando a compensação quer seja das componentes harmónicas de tensão, quer seja das componentes harmónicas da corrente produzidas pela carga.

Os filtros ativos, que geralmente utilizam transístores IGBT (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*) no módulo de potência, são geralmente projetados para cobrir uma faixa do espectro harmónico (tipicamente de  $h_2$  a  $h_{25}$ , isto é, da 2.<sup>a</sup> à 25.<sup>a</sup> harmónicas), são relativamente simples de instalar e podem ser conectados em qualquer ponto da instalação, com o objetivo de efetuar a compensação das harmónicas produzidas por uma ou várias cargas não-lineares. Assim, um filtro ativo pode ser localizado:

- Junto às cargas que geram grande quantidade de harmónicas;
- Junto aos quadros de distribuição, realizando uma compensação parcial das harmónicas;
- Junto ao quadro geral da instalação, para prover uma compensação geral das correntes harmónicas.

Idealmente, um filtro ativo deveria ser instalado no ponto de origem da geração da harmónica, no entanto, o local ideal para a localização dos condicionadores ativos deve ser identificado a partir de um levantamento completo dos níveis de poluição harmónica presentes na instalação e de um estudo técnico e económico que considere a influência da presença ou não das harmónicas num dado trecho da instalação (Moreno, 2001).

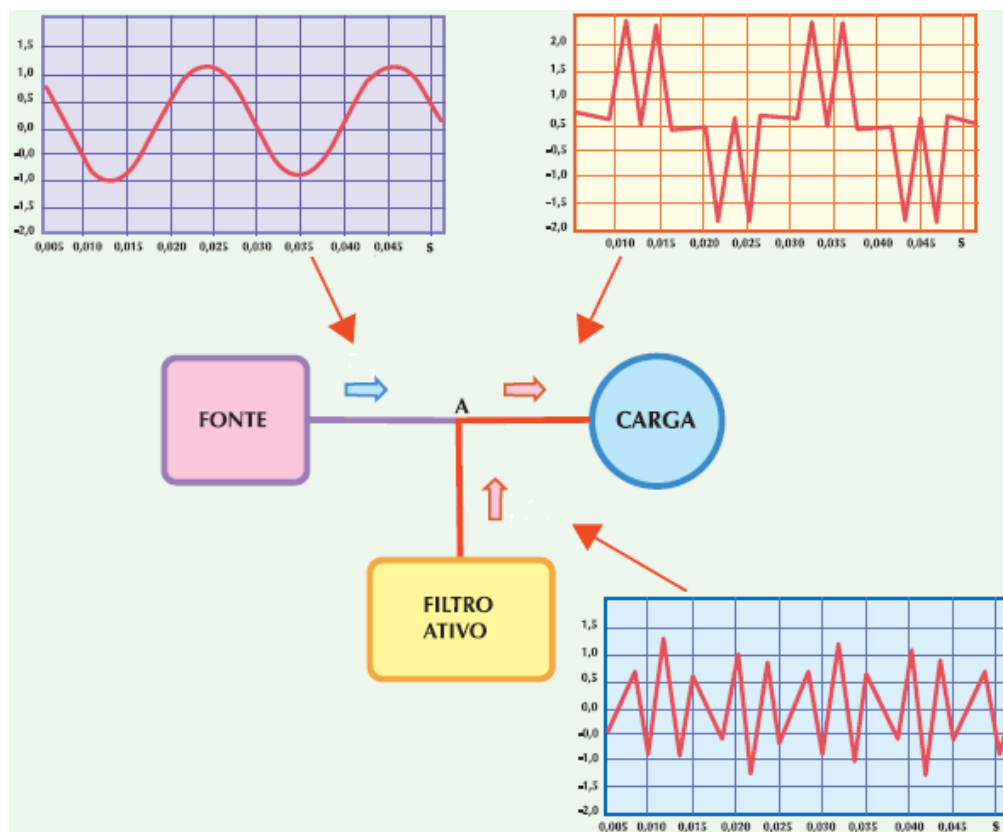


Figura 2.2. Exemplo Atuação Filtro Ativo (Moreno, 2001).

## 2.4. Fator Potência

A grande maioria das cargas consomem energia reativa indutiva, como é o caso de motores, lâmpadas fluorescentes, transformadores, fornos de indução, entre outras. As cargas indutivas necessitam de campos eletromagnéticos para o seu funcionamento, pelo que a sua operação requer a disponibilidade de potência ativa e potência reativa. A potência ativa é medida em kW e é aquela que realmente realiza trabalho no sistema. Por outro lado, a potência reativa é medida em kVAr e é apenas usada na criação dos campos eletromagnéticos das cargas indutivas.

Assim, enquanto a potência ativa é consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, vai circular entre a carga e a respetiva fonte de alimentação, ocupando desta forma um espaço no respetivo sistema elétrico, que poderia ser utilizado para fazer o fornecimento de mais energia ativa. A junção da potência ativa com a potência reativa constitui a potência aparente, que é medida em kVA, e que é a potência total produzida e transmitida a uma carga.

Para melhor demonstrar a relação entre as potências ativa, reativa e aparente, é utilizado o designado triângulo de potências. O fator de potência consiste na razão entre a potência ativa e a potência aparente, indicando a eficiência do uso da energia elétrica. Um alto fator de potência indica uma eficiência alta, por sua vez, um baixo fator de potência indica uma baixa eficiência energética.

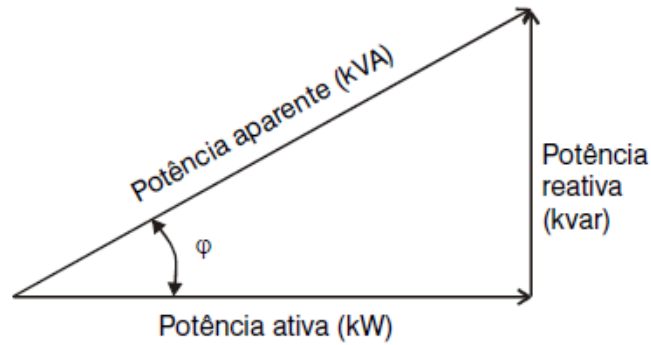


Figura 2.3. Triângulo de potências (WEG Automação, 2009).

O fator de potência  $F_p$  define-se, de acordo com a seguinte equação, como sendo o quociente entre a potência ativa e a potência aparente.

$$F_p = \cos \varphi = \frac{P[\text{kW}]}{S[\text{kVA}]} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{P}{V_{RMS} I_{RMS}} \quad (2.2)$$

Em que  $P$  é a potência ativa [kW],  $V_{RMS}$  representa o valor eficaz da tensão [V] e  $I_{RMS}$  representa o valor eficaz da intensidade de corrente [A] (Skvarenina, 2002).

Para cargas lineares, diferentes valores do desfasamento entre a tensão e a corrente dão origem a outros tantos valores da potência real. Como o desfasamento máximo é  $90^\circ$  (em avanço ou em atraso), o fator de potência é sempre positivo e compreendido entre 0 e 1. Quando se verifica um desfasamento entre a curva da tensão e a curva da intensidade de corrente, em que a intensidade está em atraso relativamente à tensão, atingindo os seus valores máximos e zero mais tarde do que a tensão diz-se que a carga é indutiva. Por sua vez, quando é a tensão que está em atraso relativamente à intensidade de corrente diz-se que a carga é capacitiva.

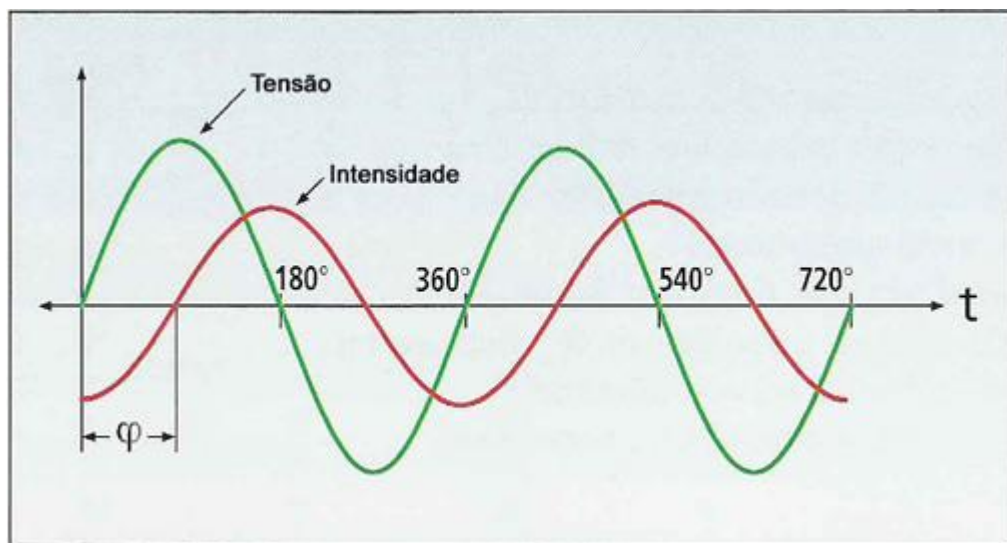


Figura 2.4. Carga indutiva (Norcontrol, 2013).

Para cargas não-lineares o problema torna-se complexo. Os dispositivos eletrónicos podem dar origem a resultados inesperados. A tensão é sinusoidal e em fase com a componente fundamental da corrente. Como a tensão é composta por um único elemento, a potência ativa é determinada pelo produto da tensão por todas as componentes harmónicas da corrente, multiplicado pelo cosseno do ângulo entre a tensão e a componente fundamental da corrente. Para a componente fundamental, o primeiro termo da série de Fourier da potência será dado por  $\sin^2(\omega t)$ . Este termo indica a potência real (energia) entregue à carga. Os restantes termos, contêm o produto da fundamental com componentes harmónicas de ordem mais elevada. Este produto é nulo para todas as componentes da corrente, com exceção da componente fundamental (Skvarenina, 2002).

## 2.5. Conceitos Bioclimáticos




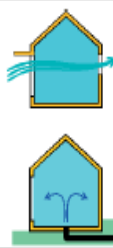

A atual legislação em vigor aponta no sentido de maiores exigências de qualidade térmica da envolvente dos edifícios. A nova versão assenta portanto, no pressuposto de que, uma parte significativa dos edifícios vem a ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no Inverno, quer no Verão e impõe limites aos consumos, que decorrem dos seus potenciais existência e uso.

As estratégias bioclimáticas são um conjunto de regras ou medidas de carácter geral, destinadas a influenciar a forma do edifício, bem como, os seus processos, sistemas e componentes construtivos. As estratégias a adotar num determinado edifício ou projeto, deverão ser selecionadas, tendo em atenção a especificidade climática do local, função do edifício e consequentemente, modo de ocupação e operação do mesmo, com o objetivo de promoverem um bom desempenho em termos de adaptação ao clima.

Para efeitos do presente regulamento, o país é dividido em zonas climáticas de Inverno e Verão. A esta escola, situado no concelho de Ferreira do Zêzere, corresponde o zoneamento I<sub>2</sub> V<sub>3</sub>. As estratégias bioclimáticas a adotar para este zoneamento, serão:

- Verão – Restringir de ganhos por condução; restringir ganhos solares. As condições de Verão sobrepõem-se às de Inverno, pelo que deverá haver especial cuidado na restrição dos ganhos solares dotando os envidraçados de sombreamentos eficazes. Promover Inércia forte e arrefecimento evaporativo;
- Inverno – Restringir de perdas por condução e promover os ganhos solares (Gonçalves, 2004).

Com a renovação e a reabilitação da envolvente, podem ser obtidas significativas economias de energia em resultado da diminuição dos consumos em energia térmica e elétrica. Em determinadas situações, como é o caso de envolventes otimizadas, pode tornar-se desnecessárias a utilização de sistemas ativos de climatização. Dependendo da performance da envolvente, uma reabilitação eficaz de um edifício ineficiente pode permitir economias de energia até 30% (Isolani, 2008).

Verão – Estação de Aquecimento	Restringir Ganhos Solares	Sombrear Envidraçados	
	Restringir Ganhos por Condução	Isolar Envolvente	
	Arrefecimento Evaporativo	Promover ventilação c/ pequenas velocidades de ar através de fontes, espelhos de água, etc.	
	Ventilação	Ventilação transversal (nocturna)  Tubos enterrados	
	Promover Inércia Forte	Paredes pesadas com isolamento pelo exterior. Esta estratégia é muito importante devido à influência continental destes climas caracterizados por altas amplitudes térmica	

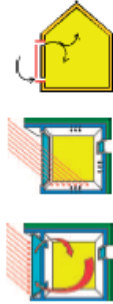


Estação	Estratégias Bioclimáticas	Sistemas Passivos	
Inverno – Estação de Aquecimento	Promover Ganhos Solares.	Todos os sistemas de ganho são adequados para os tipos de edifícios mais convenientes.	
	Restringir Perdas por Condução	Isolar Envolvente	
	Promover Inércia Forte	Paredes pesadas com isolamento pelo exterior. Esta estratégia é muito importante devido à influência continental destes climas caracterizados por altas amplitudes térmica	

Figura 2.5. Estratégias bioclimáticas a adotar para o zoneamento I2V3 (Gonçalves, 2004).

Tendo como condicionantes as condições climáticas e o modo de funcionamento do edifício, a eficiência energética da envolvente do edifício pode ser melhorada através da implementação das seguintes medidas:

- Controlo das perdas e ganhos de calor dos vãos envidraçados, através de uma escolha adequada de caixilharia e envidraçados;
- Controlo dos ganhos de calor dos vãos envidraçados, através da instalação de sombreamentos adequados;
- Melhoria do isolamento térmico de paredes, coberturas e pavimentos (controlo dos ganhos de calor das superfícies opacas);
- Redução da infiltração de ar através da envolvente (caixilharias das portas e janelas, fissuras nas paredes e juntas entre os diferentes elementos da envolvente);
- Projeto e controlo das aberturas, de forma a permitir uma adequada ventilação e a redução das perdas para aquecimento/arrefecimento (caso a ventilação seja mecânica, recuperação de calor do ar de saída);
- Utilização de vegetação para sombreamento das superfícies no Verão e para redução da temperatura do ar em volta do edifício através da evaporação.

O máximo de economias de energia é obtido a partir de uma combinação ótima das diferentes medidas (Isolani, 2008).

## 2.6. Energia Solar Térmica

A maior fonte de energia disponível na Terra é proveniente do Sol. A energia solar é indispensável para a existência de vida na Terra, sendo o ponto de partida para a realização de processos químicos e biológicos, e é das energias mais “amigas do ambiente”.

A energia irradiada pelo Sol para a atmosfera terrestre é praticamente constante. Esta energia irradiada é descrita como a constante solar relativa a uma área de  $1 \text{ m}^2$ , sendo o valor médio da constante solar de  $E_0 = 1.367 \text{ W/m}^2$ .

A radiação solar tem diversas componentes: a radiação solar direta ( $E_{dir}$ ), que atinge a terra sem qualquer mudança de direção e a radiação difusa ( $E_{dif}$ ), que chega aos olhos do observador através da difusão de moléculas de ar e partículas de pó. A radiação difusa inclui também a radiação refletida pela superfície terrestre. A soma da radiação difusa e da radiação direta equivale à radiação solar global (EG) (PE, 2004).

Um dos valores mais relevantes para o dimensionamento de um sistema solar é o valor do somatório da média anual da irradiação solar global, que como se pode ver na figura 2.7, em Portugal encontra-se compreendido entre os  $1.600 \text{ kWh/m}^2$  na zona de Vila Real e os quase  $2.000 \text{ kWh/m}^2$  na zona de Faro, com um incremento de Norte para Sul. No entanto, a variação da radiação solar útil entre o Sul e o Norte de Portugal, aproveitada por um sistema solar para aquecimento de água, não é muito significativa.



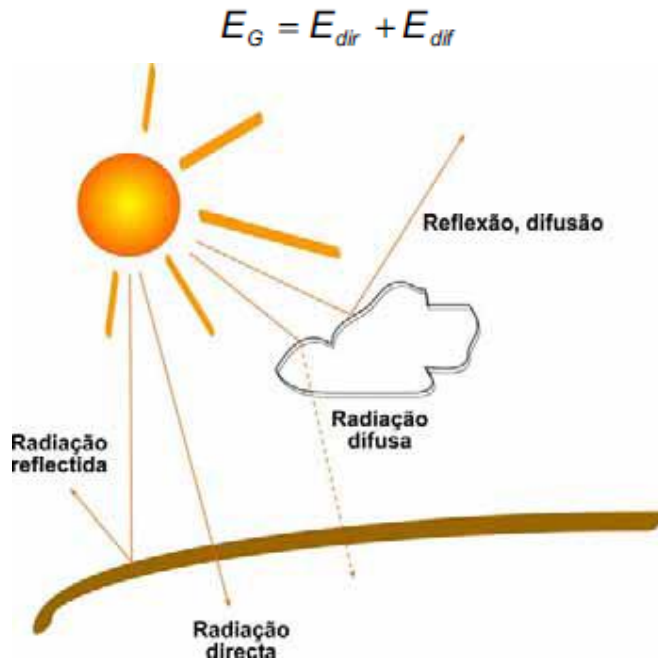


Figura 2.6. Radiação solar global e suas componentes (PE, 2004).

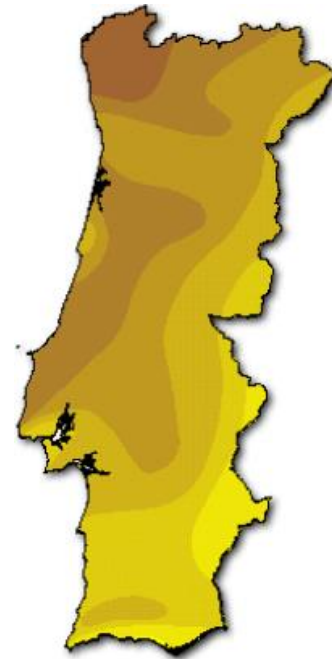


Figura 2.7. Radiação global anual em Portugal (PE, 2004)

### 2.6.1. A orientação

No estudo/aplicação da tecnologia solar são vulgarmente usados diversos ângulos, que são apresentados na tabela 2.1. Porém, existem diversas simbologias distintas atribuídas a cada um destes ângulos, sendo a apresentada apenas umas das diversas opções existentes.

Tabela 2.1. Descrição dos ângulos usados na tecnologia solar (PE, 2004).

Altura Solar	$\gamma_s$	Horizonte = 0°	Zénite = 90°	
Azimute Solar	$\alpha_s$	Sul = 0°	Este = -90°	Oeste = +90°
Inclinação Superficial	$\beta$	Horizontal = 0°	Vertical = 90°	
Azimute Superficial	$\alpha$	Sul = 0°	Este = -90°	Oeste = +90°

Os dados e figuras anteriormente apresentados, relativamente aos níveis de radiação em Portugal consideram uma superfície recetora na horizontal, porém para diferentes ângulos de incidência do sol ao longo do ano, a uma determinada latitude, existe um valor máximo de radiação produzida que poderá ser obtido se a superfície recetora estiver inclinada a um determinado ângulo. Conforme se pode ver na figura 2.8., o ângulo de inclinação ótimo dos painéis solares para os meses de inverno, em que existe uma menor radiação, é maior que nos meses de verão devido à menor altura solar.

### 2.6.2. Painéis solares térmicos

Os painéis solares térmicos podem ser divididos em duas categorias principais: painéis de alta temperatura e painéis de baixa temperatura.

Os painéis de alta temperatura estão equipados com espelhos para concentrar os raios solares. O seu custo é bastante elevado, o que os torna adequados apenas para exigências específicas e bastante limitadas.

Os painéis de baixa temperatura têm uma constituição mais simples à base de placas absorventes. Estes são utilizados sobretudo para produzir água quente e aquecer ambientes, e podem ser subdivididos da seguinte forma: painéis de líquido, com ou sem proteção, painéis de tubos de vácuo e painéis com caixa-de-ar.

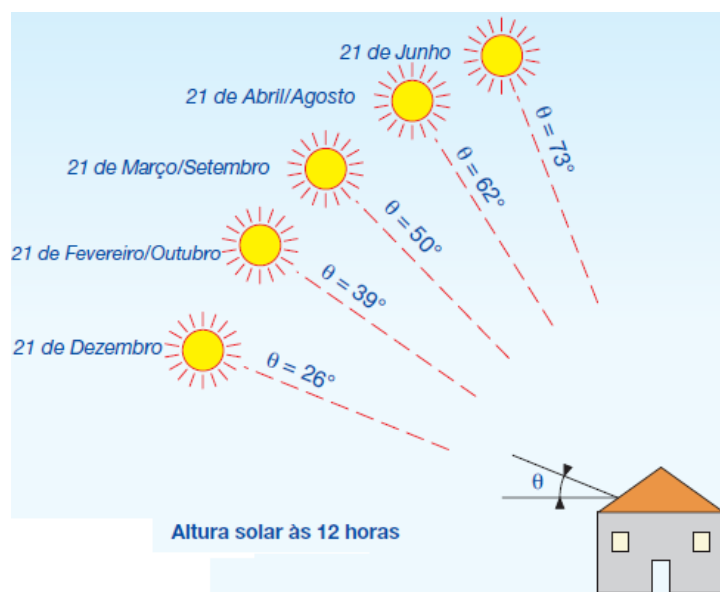


Figura 2.8. Ângulos da altura solar para diversas alturas do ano (Doninelli, 2005).

#### 2.6.2.1. Painéis de líquido sem proteção

Os painéis de líquido sem proteção são constituídos por uma placa absorvente fabricada à base de material plástico. Devido a não possuírem cobertura, não podem superar os  $40\text{--}45^\circ\text{C}$ , pelo que na prática, são principalmente utilizados no aquecimento de pequenas piscinas. O seu baixo custo é a sua principal vantagem e apresentam como maior desvantagem os problemas de rápido “envelhecimento” relacionados quer com os materiais quer com a tecnologia utilizada na sua produção.

#### 2.6.2.1. Painéis de líquido com proteção

Os painéis de líquido com proteção são constituídos por uma placa metálica absorvente, geralmente em cobre, alumínio ou aço e que inclui os tubos de passagem do líquido solar, possuindo como proteção uma placa de vidro ou de plástico com uma boa transparência à radiação solar e elevada opacidade à emitida pela placa absorvente. São ainda constituídos por materiais isolantes, colocados por baixo da placa absorvente e por um invólucro de contenção para os proteger e limitar as dispersões térmicas do painel.

Estes painéis podem produzir água quente até os  $90\text{--}95^\circ\text{C}$ , diminuindo o seu rendimento de uma forma significativa acima dos  $65\text{--}70^\circ\text{C}$ . Não necessitam de soluções de utilização complexas,

possuem um bom rendimento e custos relativamente baixos. Por estes motivos, são os painéis mais utilizados nas instalações domésticas.

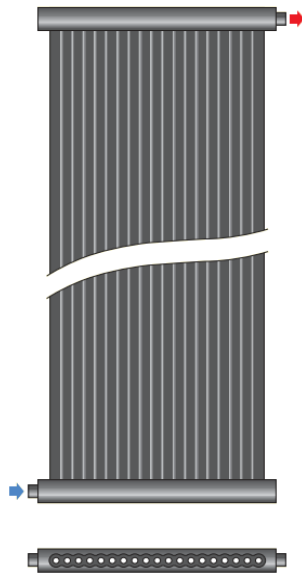


Figura 2.9. Painel de líquido sem proteção (Doninelli, 2005).

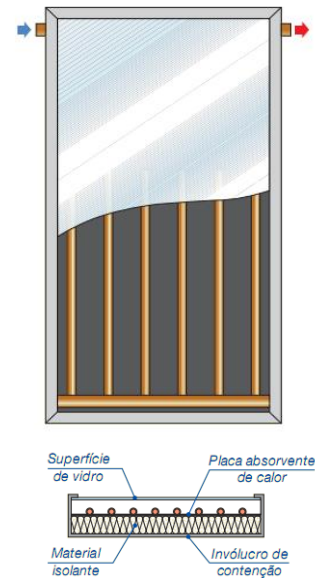


Figura 2.10. Painel de líquido com proteção (Doninelli, 2005).

### 2.6.2.2. Painéis de tubos de vácuo

São constituídos por uma série de tubos de vidro sob vácuo, no interior dos quais estão colocadas placas absorventes em tiras. Esta técnica de construção permite limitar as dispersões térmicas dos painéis e assegurar rendimentos mais elevados. Característica esta que pode ser muito útil nas zonas com baixas temperaturas externas.

Os painéis com tubos de vácuo podem produzir água quente até uma temperatura de 115-120°C, isto é, uma temperatura que permite que sejam utilizados no setor industrial, alimentar e agrícola, ou para produzir água refrigerada com o auxílio de grupos frigoríficos apropriados. O custo bastante elevado é a principal desvantagem deste tipo de painéis.

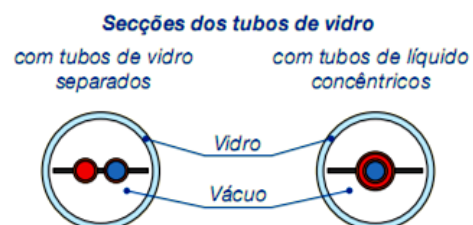
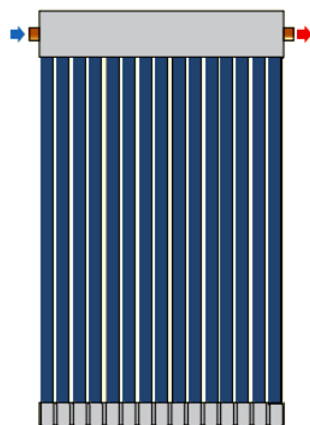


Figura 2.11. Painel de tubos de vácuo (Doninelli, 2005).

### 2.6.2.3. Painéis com caixa-de-ar

Os painéis com caixa-de-ar são constituídos por um contentor tipo caixa com a superfície superior transparente de vidro ou plástico e com isolamento térmico tanto no fundo como nas paredes laterais. A placa absorvente é uma simples chapa metálica de aço ou cobre, sobre a qual corre livremente um fluxo de ar. Estes painéis não têm um rendimento elevado, já que o ar é um vetor pouco eficaz na troca e no transporte do calor. No entanto, têm a vantagem de serem baratos e não necessitarem da intervenção de um permutador. Além disso, são muito leves, e ao contrário dos painéis com líquido solar, não estão expostos aos perigos de congelamento ou ebulição. São utilizados sobretudo para aquecer o ar ambiente e para secar produtos agrícolas.

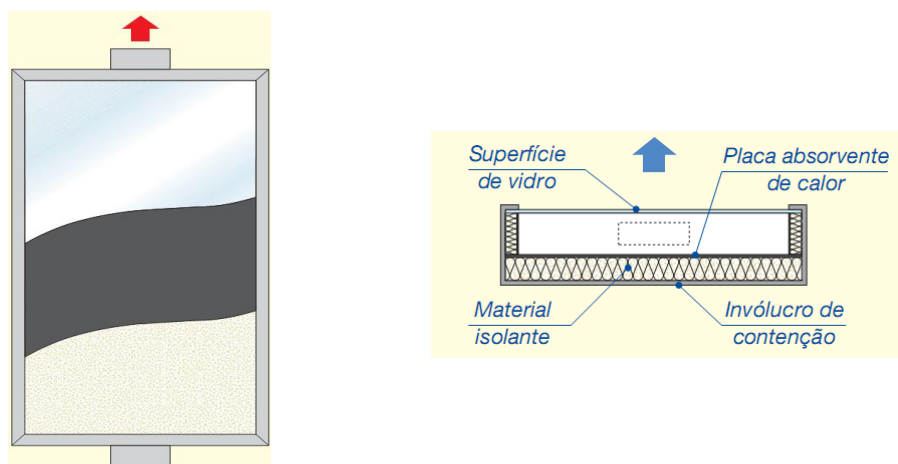


Figura 2.12. Painel com caixa-de-ar (Doninelli, 2005).

### 2.6.3. Tipos de sistemas

Existem dois tipos distintos de funcionamento de um sistema solar térmico: o sistema por termossifão e o sistema por circulação forçada.

#### 2.6.3.1. Sistemas por termossifão

Os sistemas por termossifão são utilizados essencialmente em pequenos sistemas de aquecimento de AQS. O seu princípio de funcionamento baseia-se na diferença de densidade do fluido de transferência, devido ao aumento de temperatura no coletor. Neste tipo de sistemas, também designados como sistemas tipo “kit”, o depósito de acumulação tem de estar a uma cota superior ao coletor. Na figura 2.13. está representado um sistema deste tipo.

#### 2.6.3.1. Sistemas por circulação forçada

Os sistemas por circulação forçada são usualmente utilizados em sistemas de média e grande dimensão. A principal diferença em relação ao sistema anterior reside no fato de se poder instalar o termoacumulador dentro da própria habitação, recorrendo a uma bomba de circulação para transportar a energia até este (figura 2.14). Como não é um processo autorregulado, como acontece com o termossifão, é necessário o recurso a dispositivos para controlar a transferência de energia do campo de coletores para o(s) termoacumulador(es).

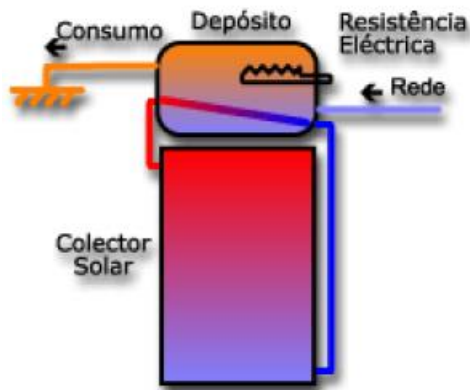


Figura 2.13. Sistema circulação em termosifão (PST, 2013).

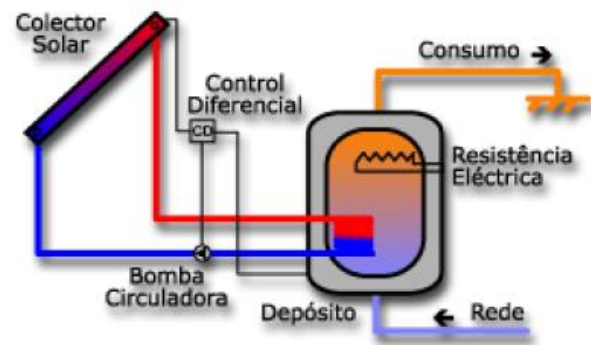


Figura 2.14. Sistema circulação forçada (PST, 2013).

## 2.7. Envidraçados

Os vãos envidraçados constituem um intermediário nas trocas de energia entre os ambientes exterior e interior dos edifícios, pelo que o impacto da sua utilização no consumo energético de um edifício depende da sua aplicação apropriada.

Uma correta aplicação dos envidraçados pode fornecer ganhos solares para o interior do edifício durante a estação de aquecimento e, conjugado com um dispositivo de sombreamento, excluí-los na estação de arrefecimento, permitindo igualmente a entrada de luz natural. Deste modo, consegue-se reduzir o consumo energético dos edifícios em aquecimento, arrefecimento e iluminação. Na figura 2.15, mostram-se os principais tipos de janelas disponíveis no mercado (Diogo, 2012).

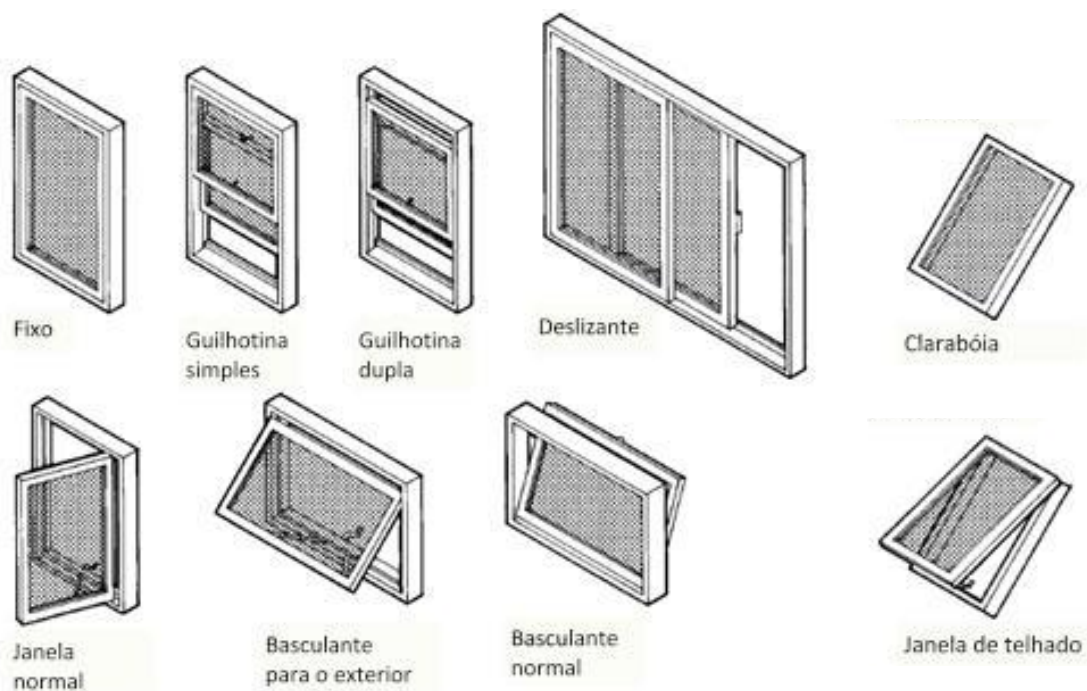


Figura 2.15. Tipos de janelas disponíveis no mercado (Diogo, 2012).

Os parâmetros de maior relevância a ter em conta para a análise/seleção de um envidraçado, e abordados neste capítulo, são o fator solar ( $g_{\perp}$ ), o coeficiente de transmissão luminosa ( $t_v$ ), o coeficiente de reflexão luminosa ( $r_v$ ) e o coeficiente de transmissão térmica ( $U$ ).

### 2.7.1. Fator solar

Da radiação total incidente sobre um envidraçado, uma parte é transmitida instantaneamente para o interior do edifício, outra parte é refletida para o exterior e uma terceira parte é absorvida pelo próprio vidro. Esta energia absorvida pelo envidraçado, que representa a energia acumulada no vidro, uma parcela é emitida para o interior e uma outra para o exterior, devido a fenómenos de convecção e radiação. Na figura 2.16, encontra-se representada, esquematicamente, a decomposição da radiação incidente sobre um envidraçado.

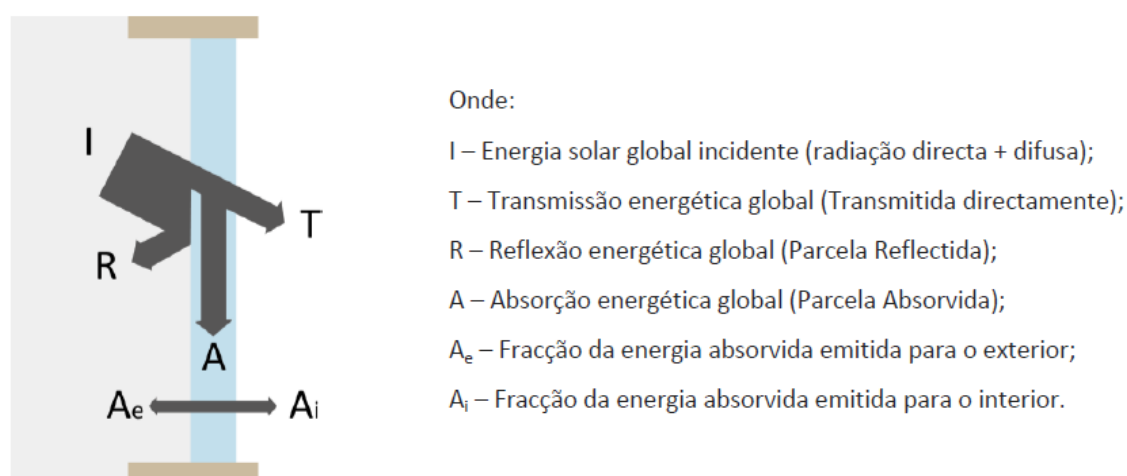


Figura 2.16. Decomposição da radiação incidente num envidraçado (Faustino, 2012).

O fator solar do vidro consiste no parâmetro que define a totalidade da radiação solar que é transmitida para o interior dos compartimentos, ou seja, representa o quociente entre a energia solar transmitida para o interior do edifício, através do envidraçado, e a energia da radiação solar total incidente. Assim, quanto menor for o fator solar do vidro, menor será a quantidade de energia que passa através deste. Por outro lado, o fator solar do vidro é condicionado pelo ângulo de incidência solar, condições de convecção natural pelo exterior, velocidade do vento, espessura do vidro, entre outros.

### 2.7.2. Coeficiente de transmissão luminosa

O coeficiente de transmissão luminosa representa a percentagem de luz visível que é transmitida para o interior do edifício através do vidro. Vidros com um elevado coeficiente de transmissão luminosa são vidros com um aspeto transparente e que proporcionam ao utilizador uma boa iluminação natural, permitindo vistas para o exterior inalteradas (Faustino, 2012).

Vidros com um reduzido coeficiente de transmissão luminosa são geralmente usados quando se verifica a existência de problemas de encandeamento graves. Por outro lado, ao não

permitirem a entrada de luz visível, criam ambientes interiores com iluminação natural insuficiente, principalmente, em condições meteorológicas de baixa radiação solar. Assim, o vidro com um reduzido coeficiente  $t_v$  é inadequado para a maior parte das aplicações de iluminação natural, uma vez que não permitem a entrada de luz natural suficiente para um correto e adequado desempenho de tarefas visuais típicas, havendo quase sempre a necessidade de utilização da iluminação artificial para complementar períodos diurnos. Em termos práticos, os valores dos fatores de transmissão luminosa podem oscilar entre os 5%, vidro duplo de cor azul, e os 91%, vidro simples claro (Faustino, 2012).

### 2.7.3. Coeficiente de reflexão luminosa

O coeficiente de reflexão luminosa expressa a capacidade de um determinado vidro se comportar como um espelho, representando a parte visível da radiação incidente sobre um vidro e que é refletida para o exterior. Um vidro com elevado coeficiente  $r_v$  permite uma boa visão do interior para o exterior do edifício e elevada refletância do exterior para o interior, no horário diurno. Por sua vez durante o período da noite, estas condições invertem-se. Vidros com elevada refletância possuem uma reduzida transmitância, isto é, apresentam ambientes interiores com uma reduzida luz natural.

Recorde-se que, a refletância traduz a relação entre o fluxo de radiação que incide numa superfície e o fluxo de radiação que é refletido, enquanto que, a transmitância representa a quantidade de energia, nomeadamente de luz, que atravessa um corpo sem sofrer absorção ou reflexão.

Na prática, os valores de reflexão luminosa podem ir dos 5%, vidro simples incolor, até aos 60%, com utilização de películas de proteção na superfície exterior do vidro (Faustino, 2012).

### 2.7.4. Coeficiente de transmissão térmica

O conhecimento do coeficiente de transmissão térmica dos vãos envidraçados é fundamental para calcular o comportamento térmico de um edifício. O coeficiente de transmissão térmica é um dos parâmetros mais importante num estudo que envolva fluxos de calor, e que neste caso, quantifica o fluxo de calor que o atravessa um envidraçado, provocado pela diferença de temperatura entre as zonas que separa, normalmente o interior e o exterior do edifício. Este coeficiente entra em consideração com os três mecanismos de transferência de calor: condução, convecção e radiação de grande comprimento de onda.

Em termos físicos, o coeficiente de transmissão térmica é expresso em  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$  e representa o fluxo de calor, em W, por metro quadrado ( $m^2$ ) de envidraçado, considerando uma diferença de temperatura de  $1^\circ C$  entre o interior e o exterior do edifício. O coeficiente de transmissão térmica é inversamente proporcional à resistência térmica que é expressa em  $(m^2 \cdot ^\circ C)/W$ . Assim, quanto maior for o coeficiente de transmissão térmica, menor será a sua resistência térmica, isto é, maior será a quantidade de energia transmitida. Pelo que, quanto menor for o valor do coeficiente de transmissão térmica, menores serão as perdas térmicas através do elemento, correspondendo a um melhor isolamento do mesmo.



O coeficiente de transmissão térmica de todo o sistema de vão envidraçado depende do tipo de vidro, do material de caixilharia e das respetivas áreas, podendo ser determinado através da seguinte expressão (Faustino, 2012):

$$U = \frac{A_c \times U_c + A_v \times U_v + L_v \times \psi}{A_c + A_v} \quad [\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}] \quad (2.3)$$

onde:

$A_c$  – área visível de caixilharia [ $\text{m}^2$ ],

$U_c$  – coeficiente de transmissão térmica do caixilho [ $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ],

$A_v$  – área visível de vidro [ $\text{m}^2$ ],

$U_v$  – coeficiente de transmissão térmica do vidro [ $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ],

$L_v$  – perímetro de vidro visível [m],

$\psi$  – coeficiente de transmissão térmica linear [ $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ].

### 2.7.5. Diversidade e caraterísticas do vidro

Atualmente o mercado vidreiro oferece um conjunto alargado de soluções aplicáveis em edifícios, para as mais variadas funções/finalidades e com diferentes valores caraterísticos de coeficiente de transmissão térmica, fator solar e fator de transmissão luminosa. As caraterísticas de comportamento térmico e ótico do vidro são noções imprescindíveis à otimização e dimensionamento dos vãos envidraçados, na conceção de um edifício (Faustino, 2012).

Na tabela 2.2, são apresentadas algumas dessas soluções de vidro mais correntes, respetivas caraterísticas e finalidades. Importa referir que estes valores só são rigorosos para o centro dos vidros e não para a totalidade da área do envidraçado. O gás de preenchimento da camara dos vidros duplos apresentados é ar atmosférico normal (essencialmente oxigénio e azoto). Os valores apresentados são a média de produtos similares de diferentes fabricantes (Faustino, 2012).

A figura 2.17 corresponde ao corte de um vidro duplo, onde se pode ver o intercalar metálico e o selante.

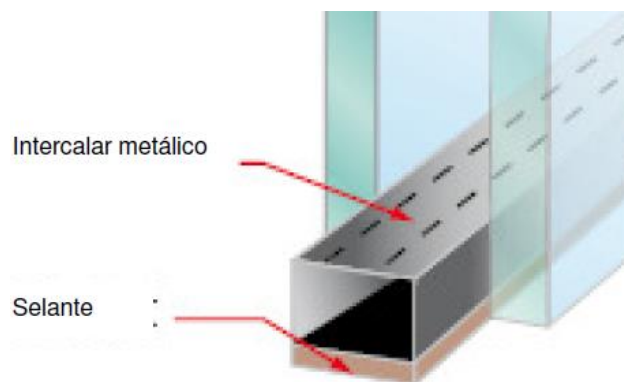


Figura 2.17. Corte de um vidro duplo (Martins, 2009).



Tabela 2.2. (a). Tipos de vidro, suas características e finalidades, existentes no mercado (Faustino, 2012).

Tipo de Vidro	Principais características e finalidades		
<b>Vidro simples incolor</b>	O ingrediente principal da massa para fabricar o vidro simples incolor é a areia de sílica misturada com sais alcalinos. Vidro simples incolor permite maior transmissão de energia e o que tem a maior transmitância, maior absorptivos.		
	$U = 6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$g_{\perp} = 0.86$	$tv = 0.90$
<b>Vidro simples colorido</b>	Os vidros coloridos são feitos adicionando corantes à massa incolor, criando as cores mais conhecidas. A adição de cor permite, em relação ao vidro simples incolor, a redução do fator solar e do fator de transmissão luminosa do vidro. Reduz o fator solar, que pode ser um benefício no Verão, mas subestimar ligeiramente o Inverno. São vidros muito absorptivos, pelo que são usados frequentemente como vitrificação externa numa janela de vidro duplo.		
	$U = 6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$g_{\perp} = 0.73$	$tv = 0.68$
<b>Vidro duplo incolor</b>	Vidro duplo incolor oferece um isolamento térmico aproximadamente duas vezes superior ao de um vidro simples. O processo de fabrico consiste em colocar, entre os dois panos de vidros, ar desidratado que melhore o isolamento. Este sistema melhora o isolamento térmico e acústico do vidro, mantendo uma elevada transmitância visível.		
	$U = 2.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$g_{\perp} = 0.76$	$tv = 0.81$
<b>Vidro duplo colorido</b>	Geralmente, o vidro exterior é o colorido e o vidro do pano interior é um incolor. Alterando a cor do envidraçado, aumenta a privacidade visual durante o dia, embora à noite o efeito seja invertido, especialmente se o vidro for combinado com uma capa refletiva. Permite a redução da transmissão luminosa e da quantidade de energia solar transmitida pelo vidro.		
	$U = 2.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$g_{\perp} = 0.63$	$tv = 0.61$
<b>Vidro duplo colorido de alto desempenho</b>	Este tipo de vidro transmite preferencialmente a parte da luz visível do dia do espectro solar, mas absorve a parte próxima da zona infravermelha. Isto é realizado com aditivos especiais durante o processo de fabrico do vidro. O vidro colorido é durável e pode ser usado em aplicações de janela monolítica ou multi-vítrea. A coloração do vidro não interfere com o coeficiente $U$ .		
	$U = 2.8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$g_{\perp} = 0.51$	$tv = 0.69$
<b>Vidro duplo refletivo</b>	Os vidros refletivos são vidros que sofreram um tratamento à base de óxidos metálicos com a finalidade de refletir a luz solar, reduzindo a entrada de calor e proporcionando ambientes mais confortáveis. Vidros refletivos são normalmente projetados para edifícios comerciais em grandes envidraçados ou para janelas com ganhos de calor solares significativos, maioritariamente em climas quentes. O fator solar varia conforme a espessura e a refletância da camada, bem como, conforme a sua localização no sistema de vitrificação.		
	$U = 2.3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$	$g_{\perp} = 0.17$	$tv = 0.13$

Tabela 2.2. (b). Tipos de vidro, suas características e finalidades, existentes no mercado (Faustino, 2012).

Tipo de Vidro	Principais características e finalidades		
<b>Vidro duplo baixo emissivo (low-E)</b>	<p>As películas baixo-emissivas (<i>low-E</i>) incorporam materiais com propriedades intrínsecas de baixa emissividade e de reflexão da radiação térmica (raios IV e UV), permitindo a passagem da radiação na gama do visível, resultando numa “iluminação fria” para interiores. É um importante “aliado” na estética das fachadas, pois permite o controlo solar, sem ter refletividade excessiva.</p> <p>Adicionando um capeamento de baixo índice refrativo e anti refletivo, cobrindo ambas as faces do vidro <i>low-E</i>, possibilita ganhar maior quantidade de luz natural e alterar os ganhos solares, enquanto o coeficiente <i>U</i> permanece igual. No Inverno, a radiação térmica proveniente do aquecimento interior é refletida pela capa de baixa emissividade, conservando o calor no interior da divisão. No Verão, a capa filtra a radiação solar e limita o calor da radiação de ondas longas, emitidas por objetos externos, como pavimento e edifícios adjacentes, diminuindo o aquecimento no interior da divisão. Existem basicamente três tipos de películas <i>low-E</i>: <i>thin films</i>, <i>thick films</i> e <i>microgrid</i>.</p> <p><u>Low-E+ (elevado ganho solar)</u>: Permitem reduzir as perdas de calor, admitindo elevados ganhos solares. Especialmente concebidos para edifícios localizados em climas com necessidades de aquecimento.</p>		
	$U = 1.65 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$g_{\perp} = 0.71$	$tv = 0.75$
	<p><u>Low-E (ganho moderado)</u>: Permite reduzir a perda de calor, deixando entrar uma quantidade razoável de ganhos solares. Especialmente concebido para climas com necessidades simultâneas de aquecimento e arrefecimento.</p>		
	$U = 1.53 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$g_{\perp} = 0.58$	$tv = 0.78$
	<p><u>Low-E- (reduzido ganho solar)</u>: Permite reduzir a perda de calor no Inverno, mas também reduzir os ganhos de calor no Verão. Comparado à maioria dos vidros coloridos e refletivos, o vidro <i>low-E-</i> prevê uma maior transmissão de luz visível, para a mesma quantidade de redução de calor solar. Vidros de reduzido ganho solar <i>low-E</i> são normalmente projetados para edifícios localizados em climas com necessidades de arrefecimento.</p>		
	$U = 1.42 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$g_{\perp} = 0.39$	$tv = 0.71$
<b>Vidro multi-camada</b>	<p>O vidro duplo apresenta o dobro do isolamento de um simples. Com a adição de um terceiro ou quarto vidro, o valor de isolamento da janela aumenta, contudo, não de forma proporcional, convergindo para um ponto de estagnação. Há limites físicos e económicos ao número de vidros que possam ser implementados numa janela. É possível a substituição do vidro por um filme plástico na camada interior do meio dos vidros. Tal como em vidros triplos ou quádruplos, as janelas que usam filmes plásticos reduzem o <i>U</i> da janela dividindo o espaço interior em múltiplas câmaras.</p>		
	Vidro triplo incolor (3 vidros)		
	$U = 1.76 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$g_{\perp} = 0.61$	$tv = 0.70$
	Vidro triplo (2 vidros e 1 filme)		
	$U = 0.85 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$g_{\perp} = 0.26$	$tv = 0.46$
	Vidro quádruplo (2 vidros e 2 filmes)		
	$U = 0.45 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$g_{\perp} = 0.24$	$tv = 0.42$

### **2.7.6. O gás na câmara de preenchimento**

O princípio do sistema de vidro duplo consiste, normalmente, em encerrar entre dois panos de vidro uma lâmina de ar seco e imóvel com o objetivo de limitar as transferências térmicas por convecção e tirar vantagem da baixa condutibilidade térmica do ar. Desta forma, a solução de vidro duplo torna-se mais isolante, uma vez que o vidro, por si só, é dos materiais de envolvente dos edifícios que se apresenta com um coeficiente de transmissão térmica mais elevado (Diogo, 2012).

No vidro duplo convencional o gás utilizado no preenchimento do espaço entre as duas superfícies é o ar atmosférico, composto essencialmente por oxigénio e azoto, proporcionando só por si um considerável nível de isolamento térmico e acústico. Atualmente, existem no mercado outras soluções de gás de preenchimento, gases que se caracterizam por uma reduzida condutibilidade térmica e por terem uma maior densidade, que lhes permite minimizar as trocas de calor e suprimir as correntes de convecção entre os vidros.

No grupo dos gases raros, o Árgon, o Criptón e o Xénon, preenchem estes requisitos, e por serem inertes, não tóxicos, não reativos, incolores e inodores, começaram a ser utilizados na indústria do vidro duplo com resultados surpreendentes. Uma vez que são gases obtidos por purificação do ar atmosférico, a sua produção é tanto mais cara, quanto mais rarificados forem. O Árgon tem-se revelado como a solução mais eficaz, com custos mais controlados, e por si só, independentemente do tipo de vidro duplo, possibilita uma melhoria de 15% na capacidade de isolamento térmico, quando comparado com o ar atmosférico (Faustino, 2012).

### **2.7.7. Dispositivo de sombreamento**

Tal como os vãos envidraçados, o correto dimensionamento e a escolha adequada dos dispositivos de sombreamento deve ser tida em consideração de forma a se obter o correto controlo dos ganhos solares através dos envidraçados. É no verão que a situação é crítica, como tal, o devido sombreamento dos vãos envidraçados (sombreamento fixo, móvel, através da envolvente ou de arranjos exteriores) principalmente dos que se encontram orientados a sul, a este e oeste, é de máxima importância. O uso de cor clara em vez de uma cor escura, nos dispositivos de sombreamento, é preferível, visto ser mais eficaz na reflexão da radiação solar e na difusão da iluminação natural (Diogo, 2012).

Ainda que a principal razão para a sua utilização seja limitar os ganhos solares pelo envidraçado, na estação quente, reduzindo as necessidades nominais de energia para arrefecimento, os dispositivos de sombreamento cumprem outras funções, também importantes, como controlar a luminosidade que é admitida no interior do espaço, atenuando possíveis efeitos de brilho sobre as superfícies menos rugosas, que por reflexão provocam encandeamento, e manter a privacidade dos habitantes do espaço, ocultando a atividade verificada no interior do mesmo (Diogo, 2012).

O sombreamento dos vãos envidraçados pode ser conseguido de várias formas. Podem ser usados pelo exterior, pelo interior ou no interior da cavidade de ar, entre panos de vidro.

Os dispositivos podem ainda ser fixos ou móveis, e estes últimos automáticos ou manuais, consoante a possível operacionalidade por parte dos utilizadores. No mercado estão disponíveis diferentes soluções como proteções solares do tipo vegetal, projeções arquitetónicas (palas verticais ou horizontais), estores de tela e veneziano, portadas e cortinas (Diogo, 2012).

### 2.7.8. Tipo e principais funções do caixilho

A caixilharia é o elemento de transição entre as áreas opacas e as áreas envidraçadas e tem como principal função garantir a estanquicidade e a operacionalidade dos vãos, contribuindo para a otimização do desempenho energético do edifício. Apesar de representar uma proporção aparentemente pequena na envolvente, as funções da caixilharia são extremamente importantes para o edifício. A caixilharia suporta os painéis de vidro que constituem as áreas envidraçadas, tanto na sua posição fechada como nas suas diversas posições abertas, garante a estanquicidade dos espaços interiores e absorve os movimentos díspares com os seus elementos rígidos distintos (Rebelo, 2009).

Ao longo da última década, tal como as características técnicas dos vidros, as caixilharias também sofreram uma grande evolução tecnológica. A estanquicidade e novos materiais de caixilharia são uma das evoluções positivas, porque permitem controlar de forma eficaz a troca de calor entre o interior e o exterior (Rebelo, 2009). Na tabela 2.3, indicam-se as principais propriedades dos materiais mais utilizados em caixilharia (Martins, 2009).

Tabela 2.3. Principais propriedades dos materiais mais utilizados em caixilharia (Martins, 2009).

Propriedades/ Características	Madeira	Alumínio	PVC
Módulo de elasticidade, E (GPa)	10	70	2
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Variável conforme tipo de madeira; 200 - 870	2700 (cerca de 1/3 do aço)	1390
Condutibilidade Térmica, $\lambda$ [W/(m.°C)]	Fraco condutor; variável em função do tipo de madeira 0,06 – 0,29	Bom condutor de calor. 230	Fraco condutor. 0,17
Condutibilidade Eléctrica	Fraco condutor.	Excelente condutor eléctrico	Fraco condutor.
Coefficiente de dilatação térmica linear ( /°C)	Variável $4 \times 10^{-6}$	$23 \times 10^{-6}$	$70 \times 10^{-6}$
Combustibilidade	Combustível. Emite gases tóxicos quando arde.	Não combustível	Combustível. Emite gases tóxicos quando arde.

Em Portugal, os caixilhos mais comuns e que geralmente apresentam os melhores resultados são: caixilhos de alumínio, caixilhos de madeira e caixilhos de PVC. A madeira como material de fabrico de caixilharia tem perdido o seu espaço para o alumínio e o PVC. Este fato deve-se sobretudo ao custo inicial de aquisição quando comparado com as outras soluções de caixilharia fabricadas noutros materiais e com os custos adicionais necessários para a execução das necessárias operações de manutenção. A figura 2.18, corresponde ao corte de uma janela mista de madeira e alumínio (Martins, 2009).

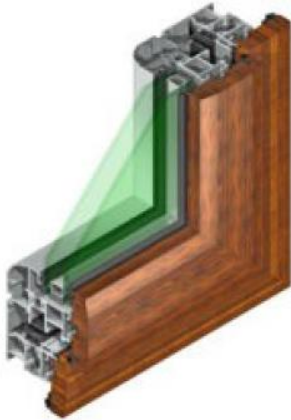


Figura 2.18. Corte de janela mista de madeira e alumínio (Martins, 2009).

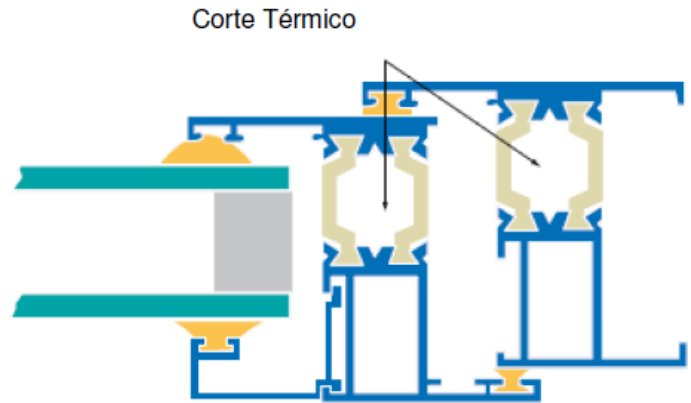


Figura 2.19. Corte de janela metálica com corte térmico (Martins, 2009).

A caixilharia de alumínio tradicional apresenta um coeficiente de transmissão térmica significativo (cerca de  $7,0 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ), uma permeabilidade ao ar limitada e dispensa a manutenção cuidada como no caso da madeira. Conforme se pode ver na figura 2.19, para compensar o desempenho térmico menos bom da caixilharia de alumínio tradicional, foi criada a caixilharia com corte térmico (Martins, 2009).

O PVC é um material termoplástico que resulta da combinação química de carbono, hidrogénio e cloro, apresentando um conjunto interessante de propriedades, pois é um material resistente, inerte, inócuo, impermeável, isolante e reciclável. Atendendo a esta breve caracterização do PVC, a caixilharia obtida a partir deste material manifesta um desempenho excecional em termos de resistência mecânica, estanquidade à água, permeabilidade ao ar e de isolamento térmico e acústico (figura 2.20). Embora o desempenho em termos de resistência mecânica seja positivo, é inferior comparando com o desempenho das outras soluções em madeira ou alumínio, pelo que, os perfis de caixilharia em PVC apresentam dimensões superiores (Martins, 2009).



Figura 2.20. Corte de janela em PVC (Martins, 2009).

## 2.8. Iluminação

A luz é uma forma de energia que se manifesta através de radiação eletromagnética e que constitui um dos fatores primordiais na criação de um ambiente laboral ou de lazer, influenciando a produtividade, a saúde e o bem-estar dos utilizadores. Face à atual preocupação ambiental e energética, torna-se determinante a implementação de sistemas energeticamente eficientes, nomeadamente ao nível da iluminação. Nos grandes edifícios de serviços a iluminação chega a ser responsável por mais de 30% dos gastos energéticos. Além disso, a iluminação pode consumir a “dobrar”, visto que a energia elétrica que não é convertida em luz é desperdiçada sob a forma de calor. A carga térmica assim resultante leva a valores de temperatura do ar superiores aos de conforto térmico e, por isso, uma parte ou a totalidade do calor libertado pelos sistemas de iluminação tem de ser dissipado pelos equipamentos de refrigeração do ar interior (Silva, 2011).

### 2.8.1. Conceitos

De seguida, são apresentados os conceitos e os parâmetros fundamentais da luminotecnia mais diretamente aplicáveis às instalações de iluminação interior. Na figura 2.21, são apresentadas as principais propriedades fotométricas.

#### 2.8.1.1. Fluxo luminoso

O fluxo luminoso ( $\Phi$ ) tem como unidade o lúmen (lm) e representa a quantidade de luz emitida em todas as direções por uma fonte luminosa durante um segundo, deve ser medido após as primeiras 100 horas de funcionamento, altura em que atinge o seu valor de funcionamento estável.

#### 2.8.1.2. Intensidade luminosa

A intensidade luminosa ( $I$ ) consiste no fluxo luminoso irradiado numa dada direção e a unidade SI utilizada para representar a intensidade luminosa é a candela (cd). De uma forma geral, as fontes luminosas não emitem igualmente em todas as direções, sendo assim necessário conhecer a intensidade luminosa em cada direção.

#### 2.8.1.3. Iluminância

Iluminância ( $E$ ) consiste no fluxo luminoso, irradiado por uma fonte luminosa, que incide sobre a área ( $A$ ) de uma determinada superfície, sendo a sua unidade SI de medida o lux (lx). Um lux corresponde à iluminância de uma superfície plana de um metro quadrado de área, sobre a qual incide perpendicularmente um fluxo luminoso de um lúmen. Como o fluxo luminoso depende da direção em causa, a iluminância não é igual para os vários pontos da área em questão.

#### 2.8.1.4. Luminância

A Luminância ( $L$ ) é a intensidade luminosa produzida, refletida ou transmitida por uma determinada superfície existente e a área aparente ( $A_p$ ) dessa mesma superfície. A distribuição da luminância no campo de visão das pessoas dentro da área, segundo um ângulo de 90° com

o eixo ocular, deve ser considerada como complemento à determinação das iluminâncias do ambiente, a fim de evitar o encandeamento. A Luminância é dada em candelas por metro quadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ).

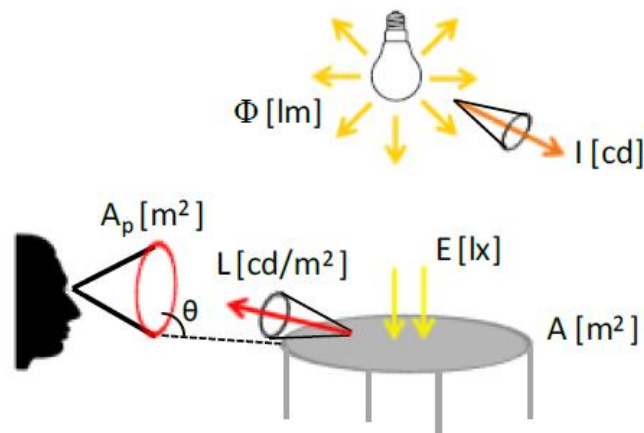


Figura 2.21. Principais propriedades fotométricas (Silva, 2011).

#### 2.8.1.5. Temperatura de cor

Expressa a aparência de cor da luz branca emitida por uma fonte luminosa e a sua unidade de medida é o kelvin (K). Quando se fala em luz quente ou fria, não se está a referir ao calor físico da lâmpada, mas sim à tonalidade de cor que ela apresenta ao ambiente. Cada tonalidade de cor corresponde a um espectro de comprimentos de onda, e quanto mais alta a temperatura de cor, mais clara é a tonalidade de cor da luz. Em climas mais frios é preferida uma aparência de cor da luz mais quente e em climas mais quentes é, geralmente, preferida uma aparência de cor da luz mais fria. Em locais de trabalho deve ser usada uma tonalidade de cor intermédia como o branco-neutro. Como se pode ver na figura 2.22. relativa à temperatura da cor, as lâmpadas podem ser divididas em três categorias: fria (clara), neutra e quente (suave).



Figura 2.22. Temperatura de cor (Araújo, 2013)

A escolha da aparência de cor é uma questão psicológica, de estética e do que é considerado natural, depende da iluminância, das cores do local e do mobiliário, assim como do clima. Em climas mais quentes, geralmente, é preferida uma aparência de cor da luz mais fria, enquanto, em climas mais frios é preferida uma aparência de cor da luz mais quente.

Nos locais de trabalho deve ser utilizada uma tonalidade de cor intermédia, branco-neutro, dado que uma tonalidade de cor mais quente pode dar alguma sonolência, pelo facto de ser semelhante à luz solar no final de um dia.

#### 2.8.1.6. Relação entre iluminância e temperatura de cor

A temperatura de cor das lâmpadas a utilizar deve estar em relação com o nível de iluminância adotada. O diagrama de Kruithof põe em evidência essa relação (Cuttle, 2008). No diagrama de Kruithof (figura 2.23), a zona intermédia corresponde à zona que provoca uma impressão agradável. Consultando o diagrama verifica-se que um nível de iluminância de 500 lux deve ser obtido com lâmpadas que tenham uma temperatura de cor entre cerca de 3000 K e 6000 K. Uma iluminância de 100 lx deve ser obtida com lâmpadas que tenham uma tonalidade de cor mais quente, entre cerca de 2500 e 3000 K. Na zona acima da zona central a iluminação parece fria e na zona de baixo a impressão de cores não é natural.

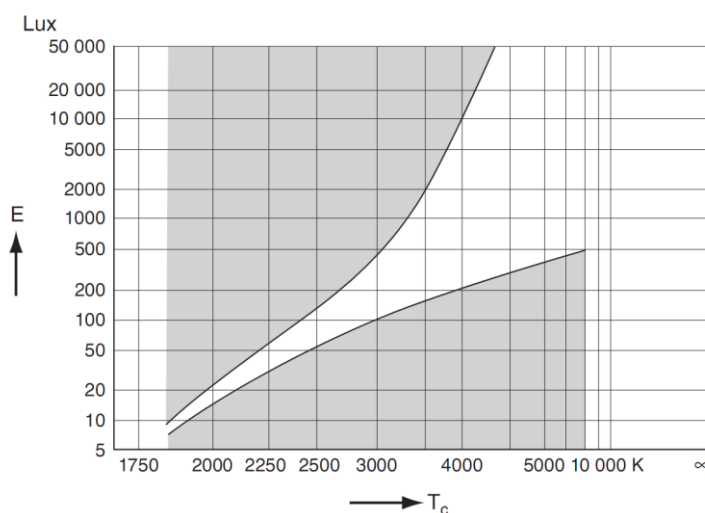


Figura 2.23. Diagrama de Kruithof (Cuttle, 2008).

O modo como nos sentimos, quando colocados num ambiente com uma classe dominante de temperatura de cor, depende da luminosidade da sala. Quanto maior a iluminância, mais confortáveis nos sentimos com uma temperatura de cor fria.

Tabela 2.4. Relação entre iluminância e temperatura de cor

A resposta emocional depende do nível de iluminação ambiente			
Iluminância [lux]	Cores da fontes de luz		
	Quente	Intermédia	Fria
Resposta emocional			
abaixo de 500	agradável	neutra	fria
500...1000			
1000...2000	estimulante	agradável	neutra
2000...3000			
acima de 3000	não natural	estimulante	agradável



### 2.8.1.7. Índice de restituição de cor

O índice de restituição de cor (IRC) traduz a fiabilidade com que uma fonte de luz artificial reproduz a cor das superfícies iluminadas, em comparação com uma fonte luminosa de referência com temperatura de cor similar à cor do objeto, isto é, o IRC caracteriza a capacidade de reprodução cromática dos objetos iluminados com uma fonte de luz. É um fator imprescindível para a escolha da fonte luminosa, visto ter um grande impacto na tarefa a executar e na criação de um ambiente agradável que contribui para o aumento da produtividade do utilizador, sendo representado numa escala que vai de 0 (muito mau) a 100 (excelente). Quanto maior for a diferença na aparência da cor de um objeto iluminado em relação ao padrão menor será o seu IRC. Lâmpadas com a mesma temperatura de cor podem possuir IRC diferentes. A tabela 2.5 mostra os valores mínimos de índices de restituição de cor aceitáveis, para um local em função do tipo de atividade aí desenvolvida.

Tabela 2.5. Valores limite para o índice de restituição de cor (Louçano, 2009).

Qualidade desejada	Valor limite de IRC	Exemplos de aplicação
A apreciação das cores tão exata quanto possível é essencial Excelente restituição de cores	IRC > 90	Controlo, seleção, exame Laboratórios Indústria têxtil Tipografias Produtos agrícolas
Restituição de cores de boa qualidade Necessidade de uma iluminação agradável	IRC > 80	Escritórios, escolas, estabelecimentos comerciais
Restituição de cores aceitável	IRC > 70	Escritórios, escolas, estabelecimentos comerciais
Restituição de cores medíocre, mas ainda assim aceitável	60 < IRC < 70	Indústria: armazéns, mecânica
Nenhuma exigência de restituição de cores	IRC < 60	Indústria: fundições, armazéns de peças

### 2.8.1.8. Tempo de vida útil

O tempo de vida útil de uma lâmpada é o tempo, em horas, necessário para que se verifique uma depreciação de cerca de 25% do fluxo luminoso da lâmpada. É afetada por fatores como o número de ciclos *on/off*, a tensão a que está sujeita, a temperatura do meio envolvente e presença de vibrações. É uma das principais características a ter em conta quanto à eficiência de um sistema de iluminação, tanto na fase de projeto, como em eventuais remodelações. A tabela 2.6. apresenta o tempo de vida útil para diferentes tipos de lâmpadas.

Tabela 2.6. Tempo de vida útil de diferentes tipos de lâmpadas (Marques, 2010).

Tecnologia	Tempo de vida (horas)
Incandescente convencional	1000 – 2000
Incandescente halogéneo	2000 – 4000
Fluorescente tubular	7400 – 24000
Fluorescente compacta	10000 – 20000
Vapor de mercúrio	16000 – 24000
Sódio de baixa pressão	14000 – 18000
Sódio de alta pressão	16000 – 24000
Iodetos metálicos	6000 – 20000
LED	40000 – 100000

### 2.8.1.9. Valores recomendados de iluminância

A distribuição de iluminância na área de trabalho, bem como na área circundante tem um impacto significativo no modo como uma pessoa percebe e realiza uma determinada tarefa visual de forma rápida, segura e confortável. A norma europeia EN 12464-1:2007 – “*Light and Lighting – Lighting of workplaces*”, especifica os requisitos mais importantes dos sistemas de iluminação de interior para a maioria dos locais de trabalho e áreas associadas, tendo em conta o tipo de espaço e a tarefa a executar.

A Comissão Internacional de Iluminação (CIE) sugere três escalas de níveis de iluminância:

- 20 a 200 lx – iluminação geral para áreas usadas com pouca frequência,
- 200 a 2000 lx – iluminação geral para locais de trabalho em interiores,
- 2000 a 20000 lx – iluminação adicional para tarefas muito exatas.

Cada uma destas três escalas é subdividida num certo número de passos, cada um diferindo de um fator de cerca de 1,5 do seguinte. A escala total de iluminâncias recomendadas é dada por: 20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1000 – 1500 – 2000 – 3000 – 5000 lx.

A iluminância da área circundante deve estar relacionada com a iluminância do local de trabalho, resultado de uma distribuição equilibrada das luminâncias no campo de visão. Mudanças drásticas das iluminâncias em redor da área de trabalho podem levar a um grande esforço visual e desconforto. A iluminância mantida na área circundante pode ser mais baixa que a iluminância da área circundante, mas não pode ser inferior aos valores dados tabela 2.7.

Tabela 2.7. Valores de iluminância média.

$E_m$ (lx) local de trabalho	$E_m$ (lx) área circundante
> 750	500
500	300
300	200
> 200	$E_m$ de local de trabalho
Uniformidade ( $E_{min}/E_m$ ) > 0,7	Uniformidade ( $E_{min}/E_m$ ) > 0,5

A iluminância média para cada tarefa não pode estar abaixo dos valores de referência, independentemente, da idade e condições da instalação. Os valores são válidos para uma condição visual normal e são tidos em conta os seguintes fatores: requisitos necessários para a tarefa visual, segurança, aspetos psicofisiológicos, assim como o conforto visual e bem-estar, economia e experiência prática. Na tabela 2.8, indicam-se os valores de iluminância por espaço funcional de um centro escolar.

Na tabela 2.8, os valores de UGR (Unified Glare Rating), traduzem os valores de desconforto visual, permitem avaliar o encandeamento direto provocado ao utilizador por uma fonte luminosa. Os valores de UGR podem variar entre 10 e 30 e são determinados em função do tipo de luminárias, da sua posição de instalação, do nível de iluminância, das dimensões do local de instalação e dos brilhos provenientes das paredes e teto. É importante limitar o encandeamento para evitar erros, fadiga e acidentes.

Tabela 2.8. Valores de iluminância por espaço funcional (Parque Escolar, 2009).

Designação do Espaço	Designação na norma/Ponto da norma	Nível médio de iluminância (lx)	UGR
Sala de aula normal	<i>Classroom/6.2.1</i>	300	19
Quadro do professor	<i>Black board/6.2.4</i>	500	19
Sala de aula normal com utilização noturna e para formação de adultos	<i>Classroom for evening classes and adults education/6.2.2</i>	500	19
Sala de aula TIC	<i>Computer practice rooms/6.2.13</i>	300	19
Sala de desenho normal	<i>Art rooms/6.2.6</i>	500	19
Sala de desenho técnico	<i>Technical drawing rooms/6.2.8</i>	750	16
Salas de artes numa Escola de Artes	<i>Art rooms in art schools/6.2.7</i>	750	19
Oficina e Laboratório (Física, Química, línguas, ...)	<i>Practical rooms and laboratories/6.2.9</i>	500	19
Sala de preparação do Laboratório	<i>Preparation rooms and workshops/6.2.15</i>	500	22
Educação Tecnológica	—	500	19
Estúdio de multimédia	—	300	19
Salas de apoio aos estudantes sem a presença de docentes	—	300	19
Área destinada a trabalho de docentes	—	500	19
Áreas destinadas ao ensino/aprendizagem informal	—	300	19
Área de atividades letivas complementares (“clubes”) e a exibição de trabalhos/conteúdos didáticos	<i>Student common rooms and assembly halls/6.2.19</i>	200	22
Áreas administrativas, gabinetes de atendimentos ou não, salas de reuniões	<i>Writing, typing, reading, data processing/3.2</i>	500	19
Gabinete de Psicologia; Posto de primeiros socorros	<i>Rooms for medical attention/1.2.6</i>	500	19
Reprografia	<i>Filing, copying/3.1</i>	300	19
Biblioteca/Zona de prateleiras	<i>Bookshelves/6.2.21</i>	200	19
Biblioteca/Zona de leitura	<i>Reading areas/6.2.22</i>	500	19
Espaço Polivalente	—	500	19
Auditório	<i>Conference and meeting rooms/3.5</i>	500	19
Sala de Exposições/Espaços Museológicos	—	500	19
Ginásio	<i>Sports halls, gymnasiums, swimming pools (general use)/6.2.24</i>	300	22
Polidesportivo Coberto	<i>Sports halls, gymnasiums, swimming pools (general use)/6.2.24</i>	Consultar a norma EN 12193	
Balneários e casas de banho	<i>Cloakrooms, washrooms, bathrooms, toilets/1.2.4</i>	200	25
Entrada/Receção	<i>Entrance halls/6.2.16</i>	200	22
Zonas de circulação, corredores	<i>Circulation areas, corridors/6.2.17</i>	100	25
Escadas	<i>Stairs/6.2.18</i>	150	25
Loja de conveniência do estudante	<i>Sales area/4.1</i>	300	22
Áreas sociais e de convívio	<i>Student common rooms and assembly halls/6.2.19</i>	200	22
Arrecadações	<i>Stock rooms for teaching materials/6.2.23</i>	100	25
Arquivo	<i>Archives/3.7</i>	200	25
Refeitório e cafetaria	<i>School canteens/6.2.25</i>	200	22
Cozinha	<i>Kitchen/6.2.26</i>	500	22

### 2.8.1.10. Influência da idade

A iluminância depende também da influência da idade. Considerando para unidade, a iluminância apropriada para a percepção de um pormenor que apresente um determinado contraste com um fundo, para um observador de 40 anos, as iluminâncias necessárias para obter a percepção do mesmo detalhe para outras idades são, segundo Fortuin, dadas por:

- aos 10 anos:  $1/3$ ,
- aos 20 anos:  $1/2$ ,
- aos 30 anos:  $2/3$ ,
- aos 40 anos: 1,
- aos 50 anos: 2,
- aos 60 anos: 5.

### 2.8.1.11. Eficácia luminosa

A eficácia luminosa representa a quantidade de luz que uma fonte luminosa consegue produzir com uma determinada potência elétrica consumida, e é calculada pelo quociente entre o fluxo luminoso, em lúmens, e a potência consumida pela lâmpada, em watt (lm/W). É uma das grandezas utilizadas para a seleção de fontes luminosas a utilizar em instalações de iluminação. Quanto maior for a eficácia melhor será a lâmpada e menos energia consumirá. De referir que nem toda a energia elétrica consumida por uma lâmpada se converte em luz visível, uma parte perde-se sob forma de calor ou de radiação não visível (infravermelha ou ultravioleta).

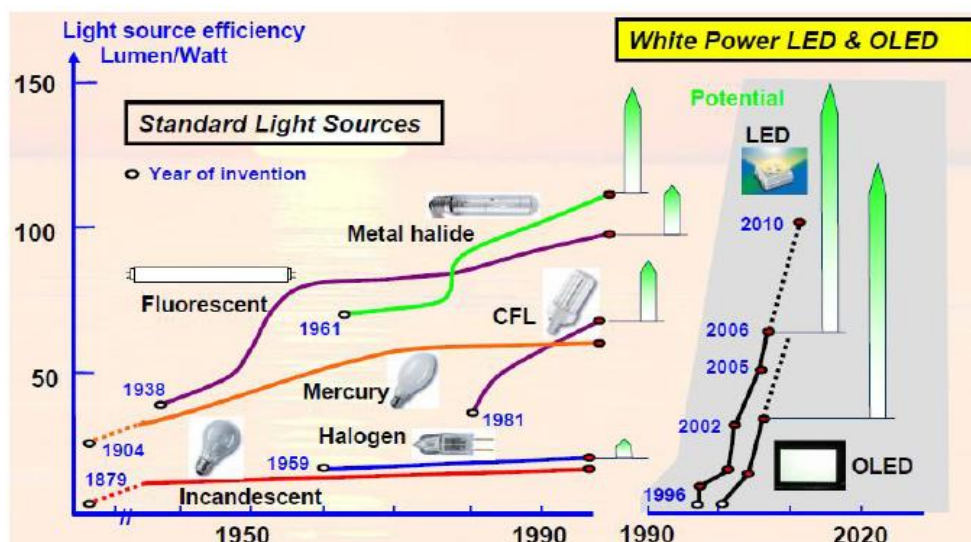


Figura 2.24. Evolução da eficiência das fontes de luz (Louçano, 2009).

## 2.8.2. Lâmpadas

### 2.8.2.1. Lâmpadas de incandescência

O seu funcionamento ocorre pela passagem de corrente elétrica, por um fio fino (filamento da lâmpada), com alta resistência elétrica, que aquecido até à incandescência emite luz visível e calor. Estas lâmpadas são muito pouco económicas pois produzem muito mais calor do que luz, aproximadamente 90% é transformado em calor e somente 10% em luz. Por estas razões,

esta lâmpada não é eficiente e tem vindo a ser gradualmente retirada do mercado. A vida média para este tipo de lâmpadas é de aproximadamente 1000 horas, com eficiência média de 20 lm/W.

### 2.8.2.2. Lâmpadas de halogénio

As lâmpadas de halogéneo baseiam-se no ciclo de halogéneo regenerativo. Estas também possuem um filamento, porém trabalha em conjunto com o halogéneo (por exemplo: iodo, flúor e bromo). Através dessa composição, as moléculas do filamento de tungsténio, que se desprendem com o uso, são capturadas pelo composto halogéneo. Quando esse composto fornecido pelo halogéneo e tungsténio se aproxima do filamento, é decomposto pela alta temperatura do filamento, restituindo a molécula de tungsténio sobre o filamento da lâmpada e promovendo uma regeneração do mesmo. O halogéneo continua a sua tarefa no ciclo regenerativo. Este tipo de lâmpada apresenta um rendimento de aproximadamente 25lm/W, muito boa restituição de cores, duração de vida média entre 2000 a 4000 h, temperatura de cor de 3000 K. Os modelos de 12 V necessitam de um transformador para interligação com a rede elétrica, possibilitando o seu funcionamento correto. Os demais modelos funcionam diretamente a 230V e todas as lâmpadas de halogéneo permitem um controlo de fluxo luminoso (Sousa, 2011).



Figura 2.25. Lâmpadas de halogénio (Marques, 2010).

### 2.8.2.3. Lâmpadas de descarga

O princípio de funcionamento destas lâmpadas baseia-se na condução de corrente elétrica num meio gasoso, quando nos seus elétrodos é aplicada uma tensão elevada capaz de vencer a rigidez dielétrica do meio. A lâmpada de descarga é composta, genericamente, por um tubo de descarga contendo um gás ou vapor metálico e dois elétrodos. Quando uma tensão é aplicada aos elétrodos dá-se a ionização do gás, devido à excitação de eletrões, criando um fluxo de corrente elétrica originada pela descarga elétrica do gás. Este tipo de lâmpada necessita de equipamento auxiliar para o arranque, arrancador, que produz uma tensão elevada de forma a ionizar o gás. O arrancador permite a criação do arco elétrico, após o qual a resistência elétrica diminui. Torna-se necessário a instalação de um balastro que limitará esta resistência, para que não ocorra um curto-circuito, mantendo o arco em funcionamento. São habitualmente divididas em duas categorias: lâmpadas de descarga de baixa pressão e lâmpadas de descarga a alta pressão.

– Lâmpadas de descarga de baixa pressão:

- Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão,
- Lâmpadas fluorescentes (lâmpada de vapor de mercúrio de baixa pressão);
- Lâmpadas fluorescentes compactas.

- Lâmpadas de descarga de alta pressão:
  - Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão;
  - Lâmpadas de vapor de mercúrio;
  - Lâmpadas de luz mista;
  - Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos.

#### 2.8.2.4. Lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão

Nestas lâmpadas, é colocada uma pequena quantidade de Sódio num tubo de vidro com gás Néon e Árgon. Estes gases servem para ativar o arco elétrico que é formado entre os elétrodo colocados nas extremidades do tubo. Durante o aquecimento inicial da lâmpada o Sódio vaporiza passando a emitir luz visível (Marques, 2010).

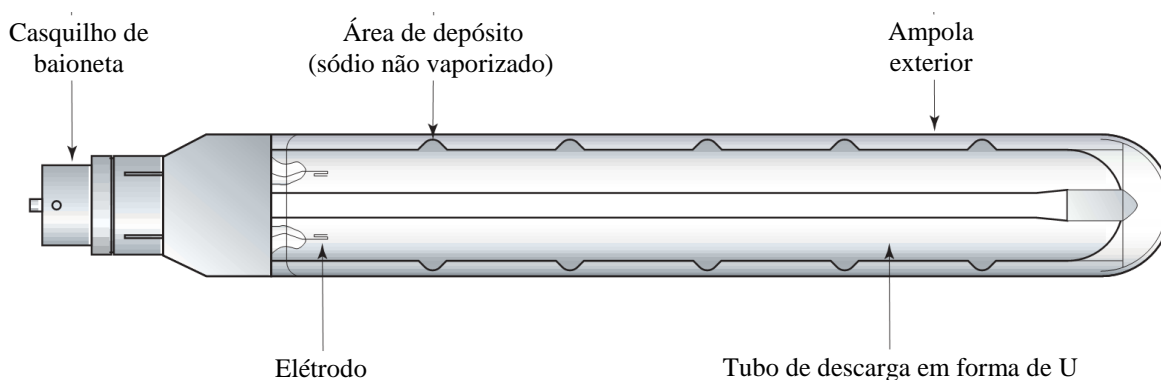


Figura 2.26. Componentes de uma lâmpada de descarga de vapor de sódio (Marques, 2010).

Uma lâmpada de vapor de sódio de baixa pressão emite a maioria da sua energia na parte visível do espectro, em comprimentos de onda de 589 e 589,6 nm (o característico amarelo da luz de sódio), o que resulta num IRC nulo. Necessita de aparelhos auxiliares (balastro, arrancador e condensadores), duração de vida média de aproximada 12000 h, temperatura de cor de 1700 K, tempo de arranque e de re-arranque de aproximadamente 10 minutos e instantâneo depois de quente. São lâmpadas de maior rendimento luminoso, podendo chegar aos 200 lm/W. Este tipo de lâmpadas é usado principalmente em iluminação pública e em iluminação de vigilância.

#### 2.8.2.5. Lâmpadas fluorescentes

As lâmpadas fluorescentes são constituídas por um tubo de vidro revestido internamente por fósforo, que é excitado por radiação ultravioleta gerada pela ionização do gás, produzindo luz visível. Uma característica importante destas lâmpadas é o fato de, com a diminuição do diâmetro da lâmpada, se verificar um aumento da eficácia, maior número de reflexões (Marques, 2010).

Têm um rendimento até os 100 lm/W, com índice de restituição de cores de 85 a 95, temperatura de cor de 2700 a 5000 K, duração de vida média de 7500 a 10000 h, podendo diminuir o seu tempo de vida com a maior frequência de acendimentos. Com balastro eletrônico a sua duração de vida média aumenta em cerca de 50%. O seu tempo de arranque e de re-arranque, com balastro magnético é lento e com cintilação, mas com balastro eletrônico

o seu arranque é instantâneo. Com aplicação de balastro magnético, necessita-se adicionar um condensador. O mesmo não acontece com balastro eletrônico, tendo um fator de potência de 0,95. As lâmpadas fluorescentes tubulares são aplicadas principalmente em iluminação interior (Sousa, 2011).

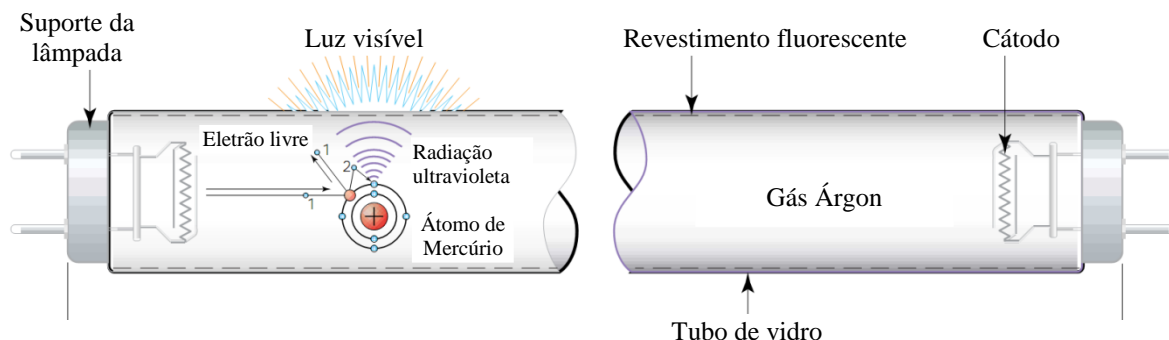


Figura 2.27. Componentes de uma lâmpada fluorescente (Marques, 2010).

#### 2.8.2.6. Lâmpadas florescentes compactas

Estas lâmpadas têm o mesmo princípio de funcionamento que as lâmpadas fluorescentes tubulares, com a diferença de já terem incorporado na lâmpada o equipamento auxiliar arrancador, balastro ou condensador. As lâmpadas florescentes compactas são ideais para substituição das lâmpadas incandescentes em uso residencial, pela sua dimensão reduzida e existência com casquilho E27 ou E14, grande economia de energia e alta durabilidade. Possuem um bom rendimento luminoso de 40 a 60 lm/W, um IRC superior a 80, uma vida mediana de 5000 a 9000 h, uma temperatura de cor de 2700 a 5400 K, cores suaves e claras e ainda uma grande diversidade de formatos (Sousa, 2011).



Figura 2.28. Lâmpadas fluorescentes compactas.

#### 2.8.2.7. Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão

As lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão são lâmpadas com tubo de descarga cerâmico, o que lhes proporciona maior estabilidade da cor durante seu tempo de vida, um IRC alto, entre os 81 e os 96 conforme o modelo, baixo consumo, alto rendimento que pode chegar aos 120 lm/W, tempo de arranque e de re-arranque de 1 a 5 minutos, diversidade de formatos e potências, temperatura de cor de 1900 a 2500 K, posição universal de funcionamento (exceto duplo contato), excelente relação custo-benefício (Sousa, 2011). Este tipo de lâmpadas são ideais para destaques, iluminação industrial, iluminação externa e até mesmo iluminação pública, onde os interesses vão em busca de embelezamento da cidade.

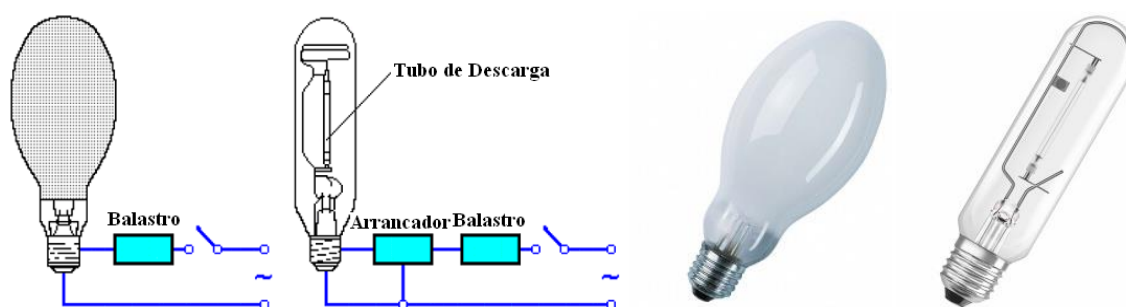


Figura 2.29. Construção e operação das lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão (Louçano, 2009).

#### 2.8.2.8. Lâmpadas de vapor mercúrio de alta pressão

As lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão emitem luz de aparência branca-azulada. Estas necessitam de aparelhagem auxiliar, como balastro e condensador para o seu perfeito funcionamento. Possuem um rendimento até 55 lm/W, uma restituição de cores de IRC baixo, entre os 40 e os 48 conforme o modelo, duração de vida média das 10000 às 12000 h e o tempo de arranque e de re-arranque é de 4 a 6 minutos (Sousa, 2011).

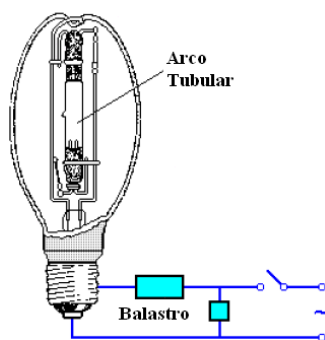


Figura 2.30. Construção e operação da lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão (Louçano, 2009).

Este tipo de lâmpadas tem como principal aplicação a iluminação industrial, a iluminação pública e a instalações que necessitem de baixo custo inicial. Devido a serem de baixa eficiência energética, a sua aplicação tende a ser substituída por outras lâmpadas.

#### 2.8.2.9. Lâmpadas de luz mista

As lâmpadas de luz mista têm uma combinação de lâmpada de vapor de mercúrio de alta pressão e incandescente. Consistem num bolbo, geralmente de quartzo, preenchido com gás e revestido na parede interna com um fósforo, contendo um tubo de descarga semelhante ao das lâmpadas de mercúrio com filamento externo. O seu funcionamento baseia-se no filamento e na descarga dentro do tubo pelo Árgon, que provoca o aquecimento com vaporização do Mercúrio e com ionização do bolbo, completando-se assim a descarga. A radiação ultravioleta da descarga do Mercúrio é convertida em radiação visível pela camada fluorescente (Soares, 2011).

As lâmpadas de luz mista apresentam as seguintes características: ligação direta à rede elétrica a 230 V sem necessidade de equipamento auxiliar; possui uma restituição de cores média de



61 a 63, conforme modelo; cor amarela e rendimento de até 22 lm/W. As lâmpadas de luz mista têm como principal aplicação a iluminação de locais que necessitem de grande quantidade de luz. São lâmpadas de fácil instalação e baixo custo inicial, mas devido a serem de baixa eficiência energética, a sua aplicação tende a ser substituída (Sousa, 2011).

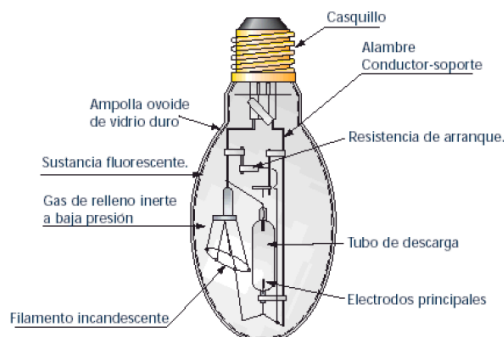


Figura 2.31. Constituição de uma lâmpada de luz mista (Marques, 2010).

#### 2.8.2.10. Lâmpadas de vapor de mercúrio de iodetos metálicos

Lâmpadas de vapor metálico, com tubo de descarga cerâmico, o que lhes proporciona maior estabilidade da cor durante seu tempo de vida, IRC alto de 81 a 96, conforme modelo, temperatura de cor (3000 a 7000 K), de baixo consumo, alto rendimento até aos 80 lm/W, diversidade de formatos e potências, tempo de vida de 3000 a 9000 h, tempo de arranque e de re-arranque de 4 a 10 minutos, necessitam de aparelhagem auxiliar, balastos, arrancador e condensador, e elevada relação custo-benefício (Sousa, 2011). Este tipo de lâmpadas são ideais para quando a restituição de cores tem uma importância primordial, em interiores e em exteriores e até mesmo iluminação pública, onde os interesses estéticos são fundamentais.



Figura 2.32. Lâmpada de vapor de mercúrio com iodetos metálicos (Marques, 2010).

#### 2.8.2.11. Lâmpadas LED

A sigla LED vem de *Light Emitting Diode*, em português significa Diodo Emissor de Luz. São componentes semicondutores, com tecnologia idêntica à utilizada nos *chips* de computadores e que têm a propriedade de transformar energia elétrica em luz. A luz gerada pelos LED é originada através do aquecimento destes semicondutores por uma pequena corrente elétrica, gerando uma luz bastante intensa e constante que pode ser regulável e colorida. As lâmpadas LED apresentam as seguintes vantagens:

- Vida útil de 50000 h,
- Acionamento imediato, o que além de favorecer a sua aplicação, possibilita a criação de efeito tipo *flashing*,

- Possibilidade de projeção em superfícies com luz, variando o aspeto de fachadas e ambientes em geral,
- Os LED, pelo seu princípio de operação, geram uma luz monocromática, emitindo luz na cor certa, proporcionando cores puras e mais vivas,
- Grande índice de robustez, pois resiste a grandes variações, a temperatura e a vibração, garantindo a continuidade de operação independentemente das condições de uso,
- Segurança para os utilizadores, pois estes operam em baixa tensão (inferior a 33 V),
- Bastante ecológicos, quando comparado com outras lâmpadas que utilizam mercúrio na sua composição.

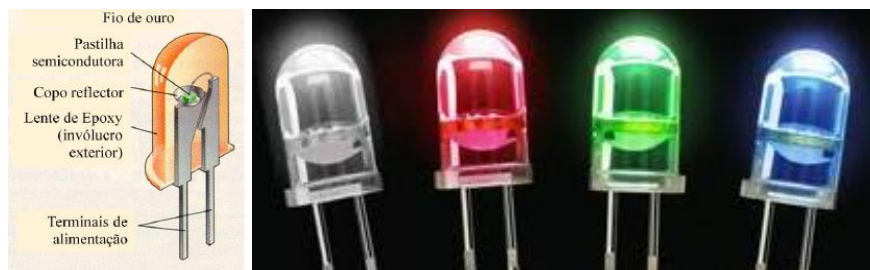


Figura 2.33. Constituição de uma lâmpada LED (Soares, 2011).

Atualmente, a grande desvantagem das lâmpadas LED reside no seu custo de investimento inicial um pouco caro, que pode não compensar a substituição das lâmpadas normais.

#### 2.8.2.12. Iluminação por fibra ótica

A composição da fibra ótica baseia-se num emissor de luz, por um cabo ou mais de fibra ótica e por lentes terminais que emanam a luz, sendo através da fibra que a energia luminosa é transmitida rapidamente, conseguindo-se assim uma iluminação pontual.

A iluminação com fibra ótica ainda é muito cara e pouco acessível, mas tem imensas vantagens em comparação com os sistemas tradicionais de iluminação, nomeadamente, é à prova de água, podendo assim iluminar piscinas e jacuzzis sem perigo de curto-circuito, pode produzir luzes coloridas (azul, verde, amarelo, laranja, rosa e branco), tem uma grande durabilidade, não produz calor, tem grande segurança pois não emite energia elétrica, possibilita grande flexibilidade na sua utilização, e tem uma grande economia de energia elétrica, porque com apenas uma lâmpada, podemos iluminar vários cabos de fibra e consequentemente obter vários pontos de luz.

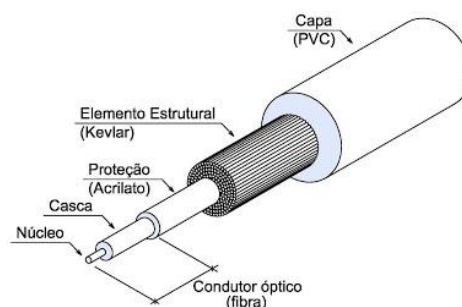


Figura 2.34. Composição de um cabo de fibra ótica (Soares, 2011).

Resumindo, a fibra ótica não é uma fonte de luz, mas sim um condutor dela, que tem a capacidade de transportar a energia luminosa rapidamente, assim não se pode falar em eficiência luminosa da fibra ótica, porque esta terá a eficiência luminosa da fonte de luz que estiver no início do circuito (Soares, 2011).

### 2.8.3. Balastros

Os balastros são equipamentos auxiliares necessários para o funcionamento das lâmpadas de descarga. A função destes equipamentos é a de limitar a corrente de funcionamento, adequar tensões para o correto funcionamento das lâmpadas e, juntamente com os arrancadores, pré-aquecer os elétrodos para provocar uma emissão de eletrões que produz a tensão de arranque necessária para iniciar a descarga.

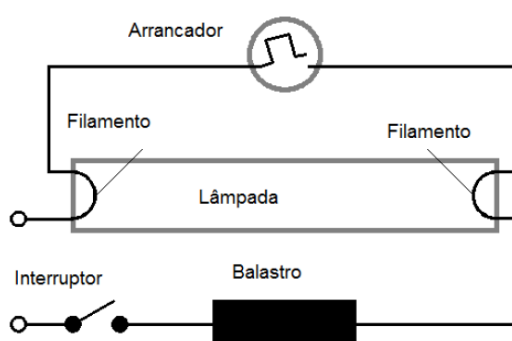


Figura 2.35. Esquema do conjunto balastro e arrancador (Marques, 2010).

#### 2.8.3.1. Balastros eletromagnéticos

Estes balastros são constituídos por um núcleo laminado de aço silício (com baixas perdas) e bobinas de fio de cobre esmaltado, impregnados com resina de poliéster adicionado com carga mineral, tendo um grande poder de isolamento e dissipação térmica. Devido à presença de bobinas estes apresentam um fator de potência baixo. Assim, nas instalações onde exista um grande número de lâmpadas fluorescentes e caso se opte por este tipo de balastros é necessário o uso de equipamentos auxiliares para compensação do fator de potência. Na tabela 2.9, estão apresentados os consumos das várias classes de balastros em conjunto com as respetivas lâmpadas (Louçano, 2009).

Tabela 2.9. Consumo lâmpada/balastro (Louçano, 2009).

Tipo de lâmpada	Potência da lâmpada	B1	B2	C	D
Fluorescente Linear (Casquilho G13)	18 W	≤24W	≤26W	≤28W	>28W
	36 W	≤41W	≤43W	≤45W	>45W
	58 W	≤64W	≤67W	≤70W	>70W
Fluorescentes compactas (Casquilho 2G11)	13 W	≤17W	≤19W	≤21W	>21W
	18 W	≤24W	≤26W	≤28W	>28W
	26 W	≤32W	≤34W	≤36W	>36W
Fluorescentes compactas (Casquilho G24)	18 W	≤24W	≤26W	≤28W	>28W
	24 W	≤32W	≤30W	≤34W	>34W
	36 W	≤41W	≤43W	≤45W	>45W

Relativamente às perdas, os balastros eletromagnéticos podem ser classificados em 3 Classes: *B* (baixas perdas), *C* (*standard*) e *D* (altas perdas). Devido às metas estipuladas pelo protocolo de Quioto, relativamente à redução da energia consumida pelos sistemas de iluminação fluorescente, a UE aboliu o uso dos balastros da classe *C* e *D*.

### 2.8.3.2. Balastros eletrônicos

Os balastros eletrônicos são constituídos por condensadores e bobinas para alta frequência, resistências, circuitos integrados e outros componentes eletrônicos. Operam a alta frequência (de 20 kHz a 50 kHz), o que proporciona maior fluxo luminoso com menor potência de consumo, transformando assim os balastros eletrônicos em produtos economizadores de energia e com maior eficiência que os eletromagnéticos (Louçano, 2009).



Figura 2.36. Balastro eletrónico (Marques, 2010).

Os balastros eletrônicos podem ser classificados segundo as seguintes classes: A1 (balastros eletrônicos com regulação), A2 (balastros eletrônicos com baixas perdas) e A3 (balastros eletrônicos *standard*). As principais vantagens deste tipo de eletrônicos, relativamente aos balastros eletromagnéticos são as seguintes (Marques, 2010):

- Menor potência absorvida, a lâmpada pode produzir cerca de mais 10% de luz para a mesma potência absorvida,
- Fator de potência superior a 0,95,
- Eliminação do efeito de *Flicker* (tremulação) – numa lâmpada funcionando a 50 Hz a luz extingue-se duas vezes por ciclo na passagem da corrente por zero,
- Eliminação do ruído audível – estes balastros funcionam acima da gama audível de frequências,
- Aumento da duração de vida das lâmpadas, devido ao pré-aquecimento dos elétrodos antes de aplicar o impulso de tensão,
- Desligar automaticamente as lâmpadas em caso de anomalia,
- Não necessitam de condensador de compensação,
- Baixa temperatura de funcionamento,
- Funcionamento em corrente contínua,
- Controlo versátil do fluxo luminoso.

## 2.9. Isolamento de Fachadas – Sistema ETICS

A legislação atualmente em vigor, no que respeita à eficiência energética dos edifícios, estabelece a obrigatoriedade da certificação energética para os novos edifícios e estende-se para todos os edifícios já existentes que sejam alvo de algum tipo de intervenção de reestruturação. Aquela veio igualmente fixar diversos parâmetros como é o caso dos valores limite da Transmitância Térmica das estruturas opacas verticais, que se estabelecem em função da zona climática em que o edifício está localizado, e que contribuem para a obtenção de edifícios com um baixo consumo energético.

Como forma de conseguir cumprir estes valores limite da Transmitância Térmica das estruturas opacas verticais, torna-se indispensável a aplicação de materiais isolantes nas paredes envolventes do edifício. Estes materiais têm diversas características que os distinguem dos demais, das quais se destaca a sua elevada resistência térmica, que permite reduzir a condutibilidade térmica das paredes e que se traduz numa considerável poupança económica devido à redução das despesas com a climatização.

Atualmente, o mercado dispõe de um vasto conjunto de tipos de materiais isolantes, que podem ser aplicados de acordo com as seguintes três formas: pelo interior, pelo exterior e no interior das paredes.

No que se refere à aplicação de isolamento nas fachadas de edifícios que já se encontram totalmente construídos, a melhor opção é a aplicação de isolamento pelo exterior da fachada, dado que apresenta mais vantagens relativamente aos outros modos de isolamento, nomeadamente:

- Mais fácil aplicação, e sem necessidade de mudar os equipamentos existentes no interior do edifício;
- Eliminação das pontes térmicas, o edifício é isolado na totalidade pelo exterior não deixando elementos construtivos em contacto com o exterior, como é o caso de vigas e pilares;
- Aproveitamento da inércia térmica das paredes exteriores, com o isolamento exterior todas as paredes exteriores passam a ter maior capacidade de armazenamento e de restituição de calor para o interior do edifício, o que se traduz numa maior estabilidade térmica do edifício;
- Problemas de infiltrações, com a aplicação pelo exterior de isolamentos estanques à água resolvem-se os problemas associados às infiltrações de água pela fachada;
- Reabilitação estética, permite remodelar as fachadas do edifício dando-lhe um novo acabamento.

Dentro das diversas técnicas e tipos de isolamentos aplicados pelo exterior, o que ganhou atualmente maior evidência é o sistema ETICS, “*External Thermal Insulation Composite Systems*”, também conhecido no nosso país como “Capoto”, associado a designações comerciais de marcas estrangeiras que o comercializam. Este sistema consiste na aplicação de

placas de isolamento, tipo EPS (poliestireno expandido), XPS (poliestireno extrudido), lâ de rocha, cortiça, entre outros, pelo lado exterior do edifício juntamente com argamassas e colas para fixação destas placas, que dão o acabamento final à fachada.

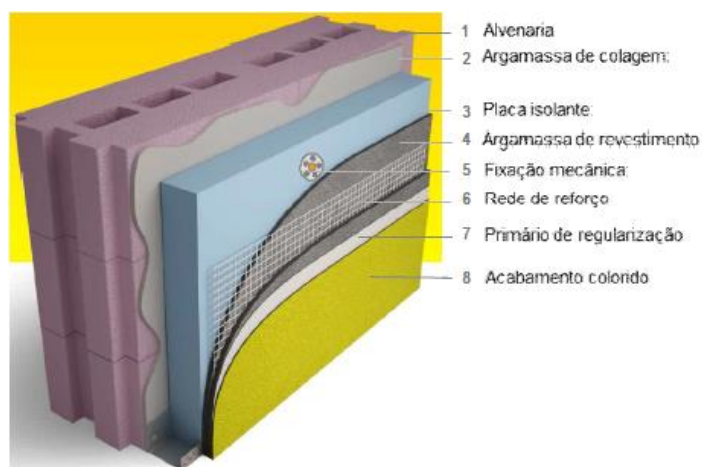


Figura 2.37. Constituição do sistema ETICS (WEBER, 2012).

A lâ mineral é o segundo material mais utilizado, como é o caso da Alemanha, por possuir melhor resistência ao fogo. Este isolante possui uma capacidade autoportante e coesão reduzidas, o que diminui a sua aderência, dado que exige fixação mecânica. Por outro lado, tem uma reduzida resistência aos choques e, por fim, aumenta a sua condutibilidade térmica com o aumento do teor de humidade (Lopes, 2005).

O aglomerado negro de cortiça, embora seja um produto natural com diversas vantagens ao nível ambiental, possui alguma absorção de água e um módulo de elasticidade transversal elevado, originando desta forma deformações significativas no sistema ETICS que poderão comprometer a estabilidade deste.

O poliestireno extrudido, apresenta uma maior resistência mecânica, incluindo ao choque, e térmica que o poliestireno expandido, mas possui maior módulo de elasticidade transversal e menor permeabilidade ao vapor de água. Em Portugal, existem poucas aplicações com este isolante e não é recomendado por entidades de homologação internacionais, devido ao seu módulo de elasticidade transversal ser superior ao poliestireno expandido moldado, originando maiores expansões e consequentes tensões no sistema (Lopes, 2005).

Atualmente, o EPS é o isolante térmico com maior utilização na Europa, incluindo Portugal, neste tipo de revestimento pelo facto de reunir um conjunto de características com maior vantagem relativamente a outros isolantes existentes. Portanto, o EPS é o revestimento mais recomendado a nível internacional e nacional para o sistema ETICS.

O sistema ETICS é fixado por intermédio de duas tecnologias: a colagem e a fixação mecânica. A primeira solução é atualmente a mais utilizada em Portugal devido às suas vantagens. A camada de colagem é feita por pontos, faixas ou em toda a área, ocupando até uma área mínima de 20% da superfície do isolante. A fixação por colagem é mais fácil e

rápida de aplicar do que a fixação mecânica, mas necessita de um suporte de fixação em bom estado de conservação e devidamente limpo.

Em casos de reabilitação, que apresentem um suporte degradado ou de difícil limpeza, a fixação mecânica surge como uma opção a considerar. Este tipo de fixação (normalmente buchas de plástico, PVC ou metálicas) constitui, por um lado, uma fonte de degradação e um motivo para uma execução menos cuidada da colagem, e possibilita pontes térmicas, pois após a sua fixação o seu topo permanece à face do isolante. Por outro lado, se o suporte for constituído por uma parede de alvenaria de tijolo corrente não rebocada, a operação de fixação é quase inexecutável pelo facto de o tijolo estilhaçar com o furo do berbequim (Lopes, 2005).

No que se refere às argamassas que constituem a camada base do acabamento, existem dois tipos de argamassas: as cimentícias e as não cimentícias. Dentro das argamassas cimentícias surgem as pré-doseadas, cimento adicionado em fábrica, prontas a aplicar, e as de mistura “*in situ*”, em que a mistura do cimento é realizada em obra. No nosso país estas últimas possuem maior utilização, mas tenderão a ser substituídas pelas pré-doseadas, de forma a evitar a mistura em obra, evitando assim erros de mistura e perdas de tempo.

Por sua vez, as argamassas não cimentícias possuem uma maior flexibilidade e consequente resistência à fissuração, sendo consideradas de melhor qualidade, mas o seu custo é superior às cimentícias. Portanto, as argamassas orgânicas tem a vantagem de possuírem melhor qualidade que as cimentícias, mas não apresentando nenhuma delas qualquer tipo de problemas, desde que a sua mistura e aplicação seja executada corretamente.

Relativamente ao acabamento de superfície do sistema ETICS existem três tipos de produtos: os minerais, os acrílicos e os de silicone. Os minerais não são os mais adequados para exteriores, devido a terem uma maior tendência para o enodoamento, absorvem mais água que os restantes. Os acrílicos são os que têm maior utilização em Portugal e possuem uma boa qualidade geral face ao envelhecimento e à intempérie.

Mais recentemente surgiu o acabamento à base de resinas de silicone, com características melhoradas relativamente aos acrílicos, nomeadamente ao nível da flexibilidade, resistência à fissuração e repelência à água, possibilitando desta forma uma secagem mais rápida das superfícies.

A solução construtiva do sistema ETICS permite ainda a aplicação de uma pintura apropriada de base aquosa e com a possibilidade de incorporar biocidas, de forma a criar uma película resistente adicional ao desenvolvimento microbiológico e à acumulação de sujidades, ou, simplesmente, para melhorar o aspeto estético da fachada.





### 3. CARATERIZAÇÃO DAS INSTALAÇÕES

A Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro está inserida no Agrupamento de Escolas de Ferreira do Zêzere e encontra-se localizada na Praceta Doutor Guilherme Félix Maria Soeiro, em Ferreira do Zêzere. Na figura 3.1, encontra-se uma vista aérea da Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro, com a indicação do perímetro escolar.

O Agrupamento de Escolas foi constituído no ano letivo de 2001/2002, passando a agregar todos os estabelecimentos de ensino do concelho num projeto educativo comum, sendo constituído, atualmente, pela escola sede (Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro), dois centros escolares, uma escola EB 1 e um Jardim de Infância. O Agrupamento de Escolas de Ferreira do Zêzere é uma unidade organizacional dotada de órgãos de administração e gestão, a partir de um Project Pedagógico comum, constituído com o objetivo de favorecer um percurso sequencial e articulado dos alunos abrangidos pela escolaridade obrigatória na área geográfica de Ferreira do Zêzere; reforçar a capacidade pedagógica dos estabelecimentos de educação e de ensino que o integram; garantir a aplicação de um regime de autonomia, administração e gestão comum aos estabelecimentos de educação e de ensino que o integram; valorizar e enquadrar experiências pedagógicas em curso (AEFZ, 2013).

Ferreira do Zêzere é uma vila portuguesa pertencente ao distrito de Santarém, região Centro e sub-região do Médio Tejo, com cerca de 2300 habitantes, por sua vez, é sede de um município que se encontra subdividido em sete freguesias, tendo uma área total de 190 km<sup>2</sup> e com cerca de 8600 habitantes.



Figura 3.1. Vista érea da Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro (*Google Maps*).

A história da Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro pode recuar até ao ano letivo de 1971/72 quando teve início o ensino público em Ferreira do Zêzere. A Escola Preparatória de Pedro Ferreiro,

com seis pavilhões pré-fabricados, foi instalada em terreno doado ao Estado pelo Dr. Soeiro e Silva para a construção da nova escola.

No verão de 1975, devido ao aumento do número de alunos, o Ciclo Preparatório, como era então conhecido, foi acrescentado com dois carros elétricos. Em abril de 1978, decorreu a inauguração oficial do novo edifício construído ao abrigo de um programa de cooperação luso-americano. A escola passou a designar-se Escola C+S de Ferreira do Zêzere evidenciando que o terceiro Ciclo e o Secundário passavam a fazer parte da oferta formativa do concelho. Desde essa data o edifício central sofreu obras de beneficiação, mas mantém-se, sensivelmente, igual. No ano letivo de 2005/06, foi proposta à tutela uma denominação mais personalizada para o nome da escola, que passou assim a ser conhecida por Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro.

A escola tem, atualmente, uma população escolar de, aproximadamente, seiscentos e cinquenta alunos que se distribuem desde o quinto ao décimo segundo ano e é constituída por um único edifício, numa tipologia de construção pouco comum. O edifício é composto por um corpo central com cerca de cinquenta salas de aula, entre as quais se contam três salas de Informática, três salas de Ciências, uma sala de Educação Tecnológica, duas salas de Educação Visual e Tecnológica e uma de Visual. Possui refeitório, bufete, sala de convívio, biblioteca e um auditório. Dentro do espaço da escola há um Pavilhão Gimnodesportivo e um centro de Ocupação Juvenil da responsabilidade da Cáritas Diocesana de Coimbra. Na figura 3.2, mostra-se a entrada principal do edifício central da escola.



Figura 3.2. Entrada principal da Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro.

A Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro tem atualmente uma área total de aproximadamente 30898 m<sup>2</sup>, sendo que destes, 3988,5 m<sup>2</sup> são área edificada, e que se encontra distribuída por dezasseis frações. Na tabela 3.1, indicam-se as áreas das diferentes estruturas edificadas na escola, as quais se encontram representadas na planta da figura 3.3. No Anexo II, são apresentadas as plantas pormenorizadas da escola. A tabela 3.2 refere-se, especificamente, ao edifício principal e ao pavilhão gimnodesportivo, indicando-se as áreas por espaço funcional, enquanto na tabela 3.3, indicam-se as áreas totais das diferentes infraestruturas que compõem a escola.

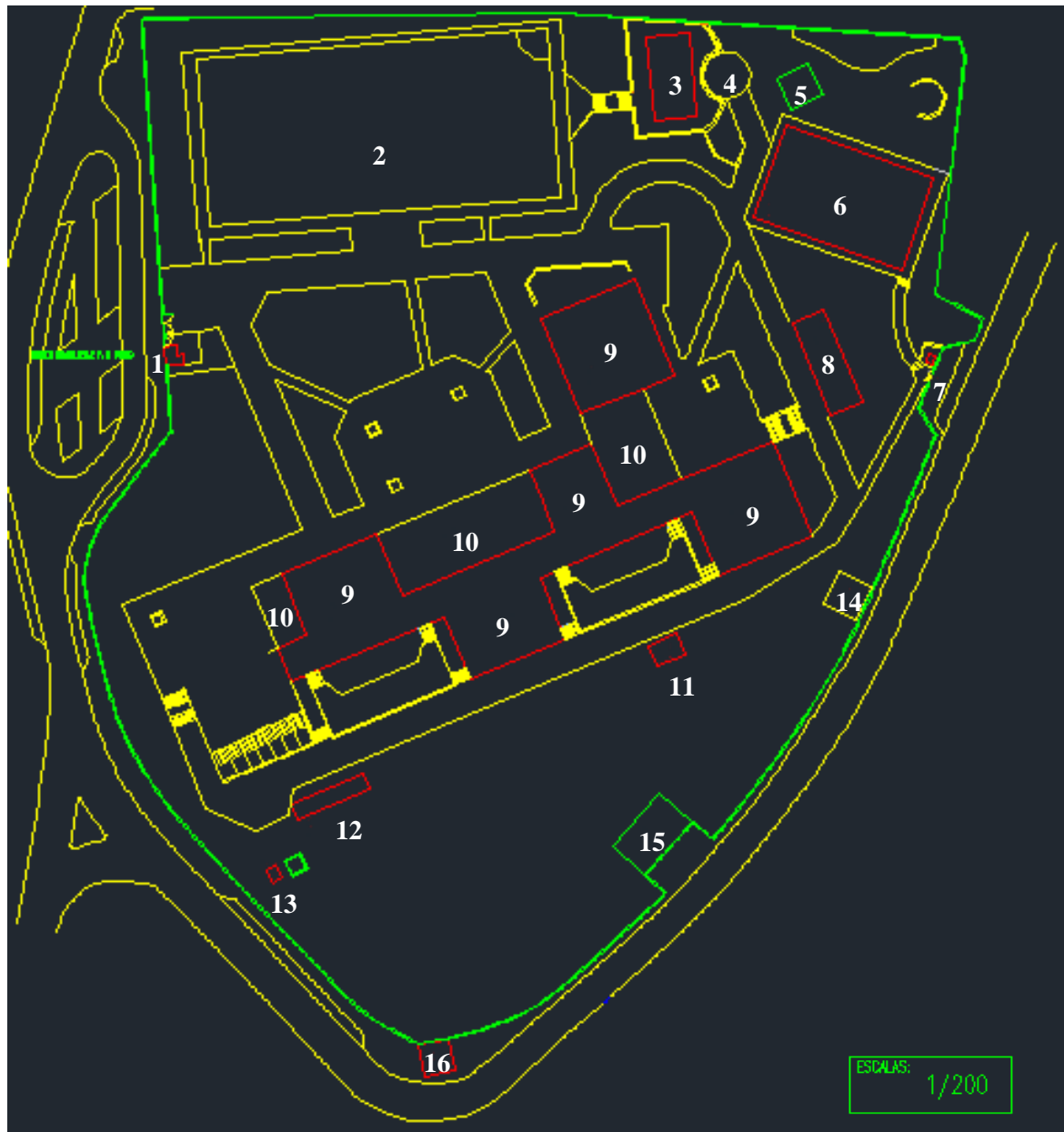


Figura 3.3. Planta da Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro.

Tabela 3.1. Estruturas edificadas na Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro.

No.	Estrutura	Área (m <sup>2</sup> )	No.	Estrutura	Área (m <sup>2</sup> )
1	Entrada principal	51,30	9	Edifício principal	2844,00
2	Campos desportivos	2712,00	10	Cobertos	790,30
3	Balneários	166,90	11	Casa da caldeira	30,45
4	Anfiteatro	78,66	12	Arrecadação de material	53,45
5	Coberto	75,70	13	Bombagem de água	20,50
6	Pavilhão e balneários	658,16	14	Fossa	61,80
7	Entrada e serviço	7,80	15	Zona do gás	141,15
8	Sala do aluno	156,00	16	Posto de transformação	46,50

Tabela 3.2. Edifício Principal e pavilhão gimnodesportivo.

Edifício		Espaço Funcional	Área (m <sup>2</sup> )
9	<b>Edifício Principal</b>	Arrumos	86,00
	2844 m <sup>2</sup>	Balneários	107,00
	Cave	Salas	245,00 (5*7,00*7,00)
		Salas	245,00 (2*17,50*7,00)
		Circulação	167,30
	R/chão	Cozinha	73,50
		Dispensa	16,32
		Economato	23,80
		Sanitários	47,10
		Átrio	47,60
		Refeitório	198,80
		Sala	149,80
		Bar	198,80
		Arrumos	41,96
		Circulação	453,34
		Salas	70,00 (2*5,00*7,00)
		Salas	196,00 (4*7,00*7,00)
		Salas	198,70
		Sanitários	140,00 (8*5,00*3,500)
		Arrumos	101,90
		Salas	98,00
		Papelaria	16,80
		Sala de professores	122,50
		Secretaria	49,00
		PBX	5,00
		Arquivo	9,50
		Salas	24,50
		Sala de reuniões	59,50
		Sala de apoio	35,00
	1.º Andar	Salas	198,24 (2*14,16*7,00)
		Salas	539,00 (11*7,00*7,00)
		Salas	81,20 (2*5,80*7,00)
		Salas	197,40 (6*4,70*7,00)
		Sanitários	68,00
		Arrumos	72,00
		Circulação	331,85
6	<b>Pavilhão</b>	Pavilhão	548,90
	658,16 m <sup>2</sup>	Balneários	86,90

Tabela 3.3. Áreas das totais das diferentes infraestruturas.

<b>Infraestrutura</b>	<b>Áreas (m<sup>2</sup>)</b>
Área edificada	3988,5
Área de telheiros	866,0
Área de campos desportivos	2712,0
Área sobante	7566,5
<b>Área total</b>	<b>30898,0</b>

Relativamente ao horário de ocupação, o edifício escolar abre por volta das 7h:30m da manhã, quando os funcionários do turno da manhã entram ao serviço, por sua vez a hora de encerramento do edifício não é constata, pois está dependente da existência de reuniões dos órgãos da escola ou de professores, porém a maioria dos funcionários do turno da tarde sai até às 18h:30m.

O horário escolar dos alunos e professores está compreendido entre as 8h:50m (início das aulas) e as 17h:30m (hora de saída das aulas). No entanto, o horário dos professores pode-se prolongar devido à existência de reuniões ou outras atividades relevantes para a escola. Os horários dos diversos serviços da escola são os seguintes:

- Serviços Administrativos – das 9h:00m às 16h:00m,
- Serviços de Ação Social Escolar – das 9h:00m às 17h:30m,
- Sala de Convívio dos alunos – das 8h:30m às 17h:00m,
- Bufete – das 9h:00 às 17h:00m
- Refeitório – das 12h:15m às 14h:00m,
- Papelaria – das 9h:00m às 12h:00m e das 14h:00m às 16h:45m,
- Reprografia – das 9h:00m às 13h:00m, das 14h:00m às 16h:00m,
- Gabinete de Psicologia e Orientação – funciona às segundas e terças-feiras das 8h:50m às 17h:40m e às quartas-feiras, quinzenalmente, no mesmo horário.

Na tabela 3.4, encontra-se o calendário escolar para os ensinos básico e secundário, incluindo o ensino especial, no ano letivo de 2012/2013 (Despacho n.º 8771-A/2012, do Ministério da Educação e Ciência).

Tabela 3.4. Calendário escolar do ano letivo de 2012/2013

<b>Períodos letivos</b>	<b>Início</b>	<b>Termo</b>	<b>Interrupções letivas</b>
1.º	Entre 10 e 14 de setembro de 2012	14 de dezembro de 2012	17 de dezembro de 2012 a 2 de janeiro de 2013
2.º	3 de janeiro de 2013	15 de março de 2013	11 de fevereiro de 2013 a 13 de fevereiro de 2013
3.º	2 de abril de 2013	7 de junho de 2013 - para os alunos dos 6.º, 9.º, 11.º e 12.º anos 14 de junho de 2013 – para os alunos dos 1.º, 2.º, 3.º, 4.º, 5.º, 7.º, 8.º e 10.º anos	18 de março de 2013 a 1 de abril de 2013

Para além das atividades letivas, desenvolvem-se na escola atividades de complemento curricular, Clubes e Projetos, de frequência facultativa que visam proporcionar a formação integral e pessoal do aluno e contribuir para o seu enriquecimento cultural e cívico, devendo dar expressão aos objetivos do Projeto Educativo do Agrupamento (AEFZ, 2013).



## 4. CARATERIZAÇÃO ENERGÉTICA

A instalação de energia elétrica da Escola EB 2,3/S de Pedro Ferreiro encontra-se, atualmente, a ser fornecida segundo o Sistema Regulado (EDP Distribuição), com um contrato de fornecimento de energia em Baixa Tensão (BT), na tarifa de BTE-Longas, Tetra-Horário, tarifário em Ciclo Diário e Potência contratada de 94 kW. No que se refere ao consumo de Gás, a escola utiliza gás propano a granel, que é fornecido pela empresa Galp Energia e armazenado no depósito privado da escola.

### 4.1. Tarifário de Energia Elétrica em Vigor

As tarifas de venda a clientes finais de Baixa Tensão Especial (BTE) são compostas por um termo tarifário fixo e por preços de potência contratada, potência em horas de ponta, energia ativa e energia reativa fornecida e recebida (indutiva e capacitiva). Consideram-se como fornecimentos de BTE os fornecimentos em BT com potência contratada superior a 41,4 kW. Na tabela 4.1, encontra-se a tarifa transitória de venda a clientes finais em BTE (EDP, 2013).

Tabela 4.1. Tarifa transitória de venda a clientes finais em BTE (EDP, 2013).

Termo tarifário fixo		EUR/mês	EUR/dia*
		27,59	0,9072
Encargos de potência	Termo	EUR/kW.mês	EUR/kW.dia*
Médias utilizações	Horas de ponta	13,113	0,4311
	Contratada	0,572	0,0188
Longas utilizações	Horas de ponta	19,788	0,6506
	Contratada	1,441	0,0474
Preço da energia ativa	Período horário	EUR/kWh	
Médias utilizações	Horas de ponta	0,2124	
	Horas de cheias	0,1173	
	Horas de vazio normal	0,0808	
	Horas de super vazio	0,0727	
Longas utilizações	Horas de ponta	0,1456	
	Horas de cheias	0,1078	
	Horas de vazio normal	0,0706	
	Horas de super vazio	0,0660	
Preço da energia reativa		EUR/kVArh	
Fornecida pela Rede (indutiva)		0,0268	
Recebida pela Rede (capacitiva)		0,0204	

\* RRC art. 220º, nº 3

Os preços da energia ativa são definidos em euros por kWh. Nas tarifas tetra-horárias os preços de energia ativa apresentam uma diferenciação em quatro períodos horários (pontas, cheias, vazio normal e super vazio) e existem duas opções tarifárias: médias utilizações (MU) e longas utilizações (LU). No ciclo diário a localização dos períodos horários é idêntica para todos os dias da semana. Na tabela 4.2, mostra-se o Ciclo diário para BTE e BTN (Baixa Tensão Normal) em Portugal Continental (ERSE, 2013).

Tabela 4.2. Ciclo diário para BTE e BTN em Portugal Continental (ERSE, 2013).

Ciclo diário para BTE e BTN em Portugal Continental			
Período de hora legal de Inverno		Período de hora legal de Verão	
Ponta:	09.00/10.30 h 18.00/20.30 h	Ponta:	10.30/13.00 h 19.30/21.00 h
Cheias:	08.00/09.00 h 10.30/18.00 h 20.30/22.00 h	Cheias:	08.00/10.30 h 13.00/19.30 h 21.00/22.00 h
Vazio normal:	06.00/08.00 h 22.00/02.00 h	Vazio normal:	06.00/08.00 h 22.00/02.00 h
Super vazio:	02.00/06.00 h	Super vazio:	02.00/06.00 h

## 4.2. Utilização da Energia

Os custos mensais com energia elétrica da Escola EB 2,3/S de Pedro Ferreiro, referentes aos anos de 2012 e 2013, são apresentados na figura 4.1. Analisando a figura, verifica-se que perfizeram um custo total de 47.607,66€. Estes custos com energia elétrica correspondem um consumo total de energia ativa de 250.706 kWh e uma emissão equivalente de CO<sub>2</sub> de 56.183,53 kg.

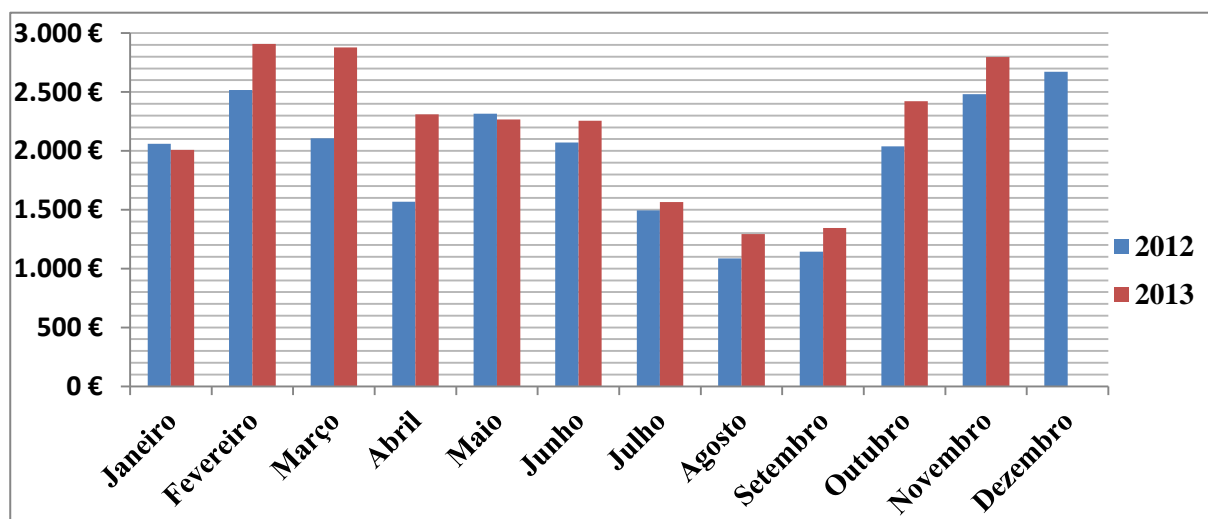


Figura 4.1. Custos mensais com energia elétrica.

O consumo mensal de energia ativa, apresentado na figura 4.2, não é constante ao longo do ano, podendo-se verificar uma evolução sequencial do mesmo. Tal facto está associado à interrupção letiva nas férias de verão e às alterações térmicas decorrentes das estações do ano. É de salientar que o sistema de aquecimento das salas de aula a gás encontra-se desligado para remodelações e tem-se recorrido a aquecedores elétricos em algumas das salas de aula consideradas mais frias. A única exceção a esta constante evolução sequencial é a faturação referente ao mês de janeiro, pois na maior parte dos dias registaram-se temperaturas acima da média.

Na tabela 4.3, indicam-se os consumos globais de energia, os custos e a quantidade equivalente de CO<sub>2</sub> emitido.



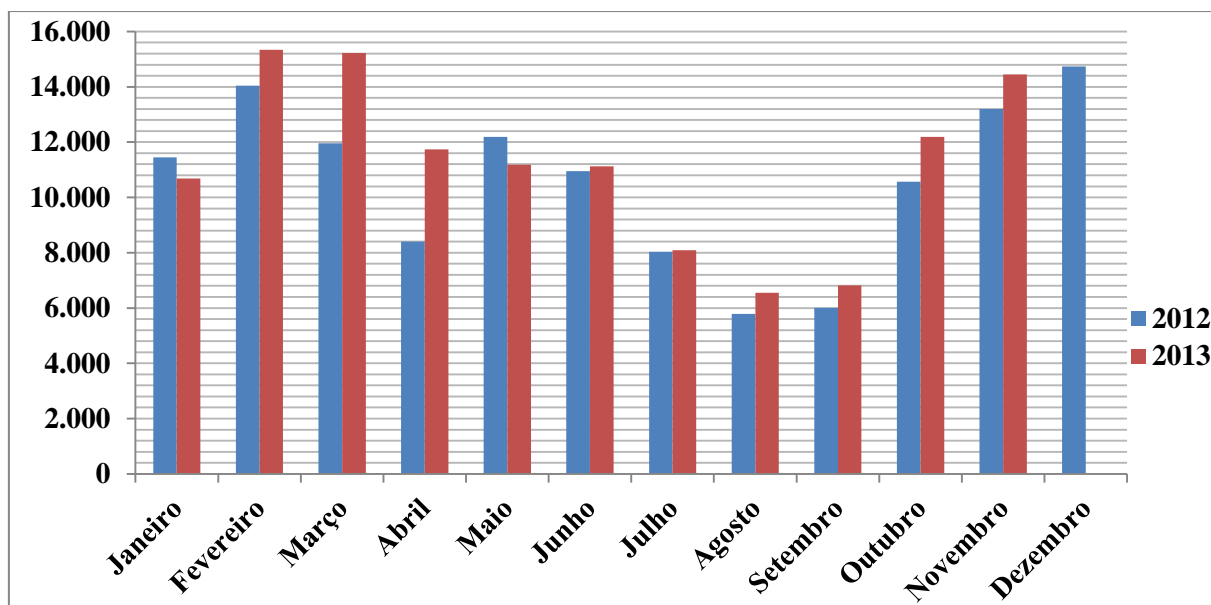


Figura 4.2. Consumo mensal de energia ativa em kWh.

Tabela 4.3. Consumos globais de energia, custos e CO<sub>2</sub> emitido.

Ano	Consumo de energia ativa em kWh	Emissões de CO <sub>2</sub> em kg	Faturação
2012	127326,00	27736,85	23556,70 €
2013	123380,00	28446,68	24050,96 €

Relativamente aos custos com abastecimento de gás propano a granel, consumido durante os anos de 2012 e 2013 na Escola EB 2,3/S de Pedro Ferreiro, apresentados na figura 4.3, perfizeram um custo total de 16.199,98€.

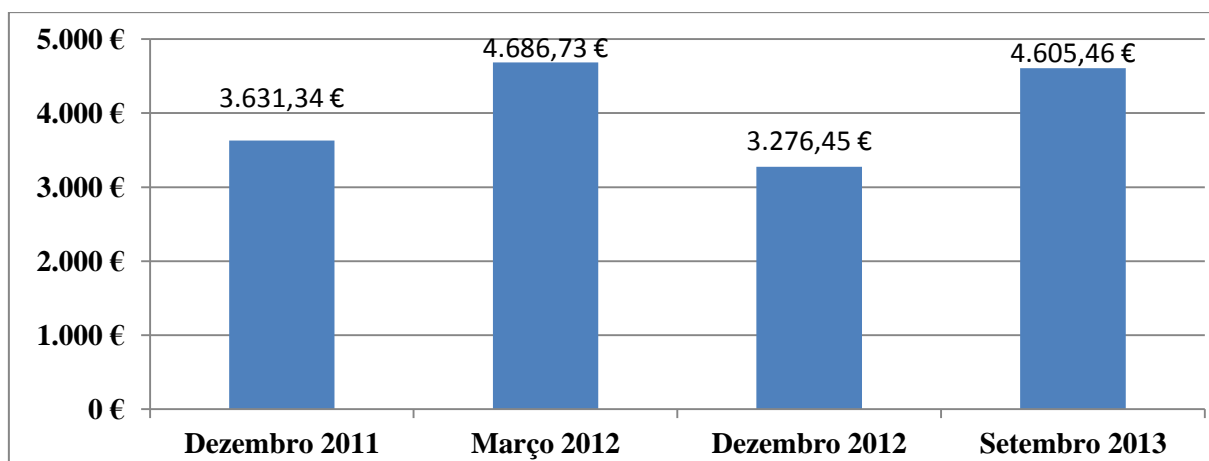


Figura 4.3. Custos com abastecimento de gás propano a granel.

Fazendo uma análise comparativa aos custos totais com energia, pode-se verificar na figura 4.4, que 74,61% dos custos com energia são referentes à energia elétrica. Porém, é de salientar que estes valores estão muito influenciados pelo facto do sistema de aquecimento das salas de aula a gás estar desligado, por necessidade de remodelação da tubagem, e como já foi

referido anteriormente, se recorrer a aquecedores elétricos em algumas salas de aula consideradas mais frias.

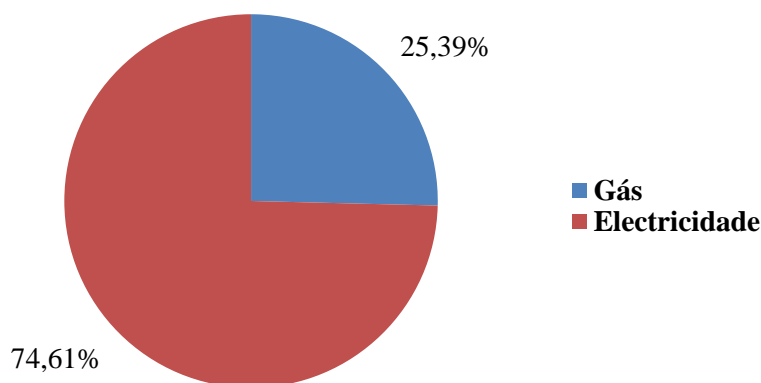


Figura 4.4. Relação dos custos totais com energia.

### 4.3. Caracterização das Cargas

Uma das tarefas efetuadas durante as diversas visitas à Escola EB 2,3/S de Pedro Ferreiro, e por sua vez uma das mais complexas, foi o levantamento das diversas cargas existentes nas instalações da escola.

#### 4.3.1. Eletricidade

Na caracterização do consumo de energia elétrica dividiu-se as cargas em seis grupos distintos: iluminação, computadores, equipamento projeção, equipamentos de climatização, sistema de comunicação e outros. Estes dados estão apresentadas detalhadamente nas tabelas 4.4 a 4.8.

Nas tabelas 4.4, 4.5 e 4.6, indicam-se as cargas referentes ao edifício principal da escola, as quais encontram-se divididas por andar. Na tabela 4.7, estão os equipamentos referentes ao sistema de comunicação instalado, enquanto na tabela 4.8, estão indicadas as cargas dos edifícios secundários da escola e do recinto (exterior).

Relativamente ao equipamento informático, nomeadamente os computadores, foi assumido um valor médio para todos os computadores, dado que seria uma tarefa bastante exaustiva analisar cada um em pormenor tendo em conta o seu elevado número. O mesmo acontece com as lâmpadas fluorescentes, onde se assumiu um consumo de aproximadamente 20% para os balastros eletromagnéticos, este valor é considerado como característico e vem referido na literatura da especialidade.

Tabela 4.4 (a). Descrição das cargas elétricas do primeiro andar.

Divisão	Iluminação			PCs		Projeção			Climatização			Outros		
	Tipo	Qt	Pot (W)	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)
Arrecad. MP	Floresc.	2	36											
	Balastro	2	7,5											
	Incand.	1	40											
Arrecad. Sala 11	Floresc.	2	36											
	Balastro	2	7,5											
Arrecad. Sala 13	Floresc.	2	36											
	Balastro	2	7,5											
Arrecad. Hall S.3	Floresc.	1	36											
	Balastro	1	7,5											
Arrecad. Hall S.21	Floresc.	1	36											
	Balastro	1	7,5											
Corredor	Floresc.	18	58									Câmara vigilância	1	25
	Balastro	18	12											
	Floresc.	16	8											
	Balastro	16	1,5											
Sala 1	Floresc.	9	58	1	400	Projector	1	170	Aquecedor	1	1800			
	Balastro	9	12			Quad.Int.	1	170						
Sala 2	Floresc.	10	58	1	400	Projector	1	170	Aquecedor	1	1800			
	Balastro	10	12											
Sala 3	Floresc.	4	58	1	400									
	Balastro	4	12											
	Floresc.	5	36											
	Balastro	5	7,5											
Sala 4	Floresc.	10	58	1	400	Projector	1	170						
	Balastro	10	12											
Sala 5	Floresc.	10	58	1	400	Projector	1	170						
	Balastro	10	12											
Sala 6	Floresc.	10	58	1	400	Projector	1	170						
	Balastro	10	12											
Sala 7	Floresc.	9	58	1	400									
	Balastro	9	12											
Sala 8	Floresc.	9	58	1	400									
	Balastro	9	12											
Sala 9	Floresc.	9	58	1	400									
	Balastro	9	12											
Sala 10	Floresc.	4	36	6	400				Split interior	1	40	Impressora	1	80
	Balastro	4	7,5											
Sala 11	Floresc.	21	36	1	400	Projector	1	170						
	Balastro	21	7,5											
Sala 11A	Floresc.	1	58	1	400	Projector	1	170						
	Balastro	1	12											
	Floresc.	8	36											
	Balastro	8	7,5											
Sala 12	Floresc.	6	58	16	400	Quad.Int.	1	170	Split interior	1	40			
	Balastro	6	12											
Sala 13	Floresc.	21	36	1	400	Projector	1	170						
	Balastro	21	7,5											
Sala 13A	Floresc.	1	58	13	400	Projector	1	170						
	Balastro	1	12											
	Floresc.	8	36											
	Balastro	8	7,5											

Tabela 4.5 (b). Descrição das cargas elétricas do primeiro andar.

Divisão	Iluminação			PCs		Projeção			Climatização			Outros		
	Tipo	Qt	Pot (W)	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)
Sala 14	Floresc.	4	36	1	400	Projektor	1	170				Central alarmes	1	230
	Balastro	4	7,5									Impressora	1	260
Sala 15	Floresc.	6	58	1	400	Projektor	1	170						
	Balastro	6	12											
	Floresc.	2	36											
	Balastro	2	7,5											
Sala 16	Floresc.	6	58	1	400									
	Balastro	6	12											
	Floresc.	2	36											
	Balastro	2	7,5											
Sala 17	Floresc.	6	58	1	400									
	Balastro	6	12											
	Floresc.	2	36											
	Balastro	2	7,5											
Sala 18	Floresc.	6	58	1	400	Projektor	1	170						
	Balastro	6	12											
	Floresc.	3	36											
	Balastro	3	7,5											
Sala 19	Floresc.	7	58	1	400	Projektor	1	170						
	Balastro	7	12											
Sala 20	Floresc.	7	58	1	400	Quad.Int.	1	170						
	Balastro	7	12											
Sala 21	Floresc.	9	58	1	400	Projektor	1	170						
	Balastro	9	12											
Sala 22	Floresc.	8	58	1	400	Projektor	1	170						
	Balastro	8	12											
Sala 23	Floresc.	8	58	1	400	Projektor	1	170						
	Balastro	8	12											
Sala 69	Floresc.	2	36											
	Balastro	2	7,5											
Hall Sala 3	Floresc.	16	36											
	Balastro	16	7,5											
Hall Sala 12	Floresc.	5	58											
	Balastro	5	12											
	Floresc.	16	36											
	Balastro	16	7,5											
Hall Sala 21	Floresc.	16	36											
	Balastro	16	7,5											
WC Homens	Floresc.	2	36									Secador mãos	1	250
	Balastro	2	7,5											
WC Mulheres	Floresc.	2	36									Secador mãos	1	250
	Balastro	2	7,5											
	Incand.	1	40											

Tabela 4.6 (a). Descrição das cargas elétricas do rés-do-chão.

Divisão	Iluminação			PCs		Projeção			Climatização			Outros		
	Tipo	Qt	Pot (W)	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)
Arrecad. Sala 24	Floresc.	4	58									Microondas	2	800
	Balastro	4	12									Frigorífico	1	95
Arrecad. Sala 35	Floresc.	1	58											
	Balastro	1	12											
Arrecad. 1	Floresc.	2	36	1	400							Frigorífico	1	35
	Balastro	2	7,5											
	F. Comp	1	18											
Buffet	Floresc.	28	58	3	400	Projektor	1	170	Termoacumulador	1	3000	Frigorífico	1	90
	Balastro	28	12									Arca cong.	1	120
	Floresc.	1	36									Televisão	1	85
	Balastro	1	7,5									Ap. moscas	1	15
												Máq. lavar loiça	1	2600
												Máq. café	1	3800
												Torradeira	1	1100
												Tostadeira	1	850
												Camara frigorífica	1	380
Conselho Executivo	Floresc.	16	58	7	400				Split interior	1	50	Mesa refrigerada	1	650
	Balastro	16	12									Frigorífico	1	35
	F. Comp	1	18											
Corredor	Floresc.	47	36									Câmara vigilância	1	25
	Balastro	47	7,5											
	Floresc.	16	8											
	Balastro	16	1,5											
Gabinete Psicologia	Floresc.	2	58	1	400									
	Balastro	2	12											
Papellaria	Floresc.	3	58	3	400				Aquecedor	1	2000			
	Balastro	3	12											
PBX	Floresc.	2	58	1	400							Central telefónica	1	200
	Balastro	2	12											
	Floresc.	2	8											
	Balastro	2	1,5											
Pessoal Aux1	Floresc.	4	58	1	400									
	Balastro	4	12											
	F. Comp	1	18											
Pessoal Aux2	Floresc.	2	58									Microondas	1	800
	Balastro	2	12									Frigorífico	1	35
Refeitório/Cozinha	Floresc.	46	58	2	400				Aquecedor	1	2000	Sec. mãos	2	250
	Balastro	46	12									Máq. lavar loiça	1	9400
	Floresc.	18	36									Descasca batatas	1	750
	Balastro	18	7,5									Fritadeira	1	8400
	Floresc.	4	8									Arca congeladora	3	120
	Balastro	4	1,5									Forno	1	9000
												Câmara frigorífica	1	850
												Unidade aquecida	1	1600

Tabela 4.7 (b). Descrição das cargas elétricas do rés-do-chão.

Divisão	Iluminação			PCs		Projeção			Climatização			Outros		
	Tipo	Qt	Pot (W)	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)
Reprografia	Floresc.	5	58	1	400				Aquecedor	1	1600	Impressora	2	1440
	Balastro	5	12									Impressora	1	290
	F. Comp	1	18											
Salas Prof.	Floresc.	24	58	7	400	Projector	1	170	Split interior	2	40	Máq. café/snack	1	1700
	Balastro	24	12											
Sala 24	Floresc.	11	58	1	400	Quad. Int	1	170						
	Balastro	11	12											
Sala 25	F. Comp	19	18	1	400	Projector	1	170	Aquecedor	1	2000			
Sala 26	Floresc.	12	58	15	400	Projector	1	170	Split interior	1	40			
	Balastro	12	12											
Sala 27	Floresc.	13	58	1	400	Quad. Int	1	170	Aquecedor	1	2000			
	Balastro	13	12											
Sala 28	Floresc.	4	58	2	400									
	Balastro	4	12											
Sala 29	Floresc.	4	36	1	400									
	Balastro	4	7,5											
Sala 30	Floresc.	6	58	1	400	Projector	1	170						
	Balastro	6	12											
	Floresc.	2	36											
	Balastro	2	7,5											
Sala 31	Floresc.	6	58	1	400									
	Balastro	6	12											
	Floresc.	2	36											
	Balastro	2	7,5											
Sala 32	Floresc.	24	58	1	400	Projector	1	170						
	Balastro	24	12											
	Floresc.	1	36											
	Balastro	1	7,5											
	Floresc.	2	8											
	Balastro	2	1,5											
Sala 33	Floresc.	14	58	1	400	Projector	1	170						
	Balastro	14	12											
Sala 34	Floresc.	13	58	1	400	Quad. Int	1	170	Aquecedor	1	2000	Estufa	1	700
	Balastro	13	12											
Sala 35	Floresc.	12	58	1	400	Quad. Int	3	170						
	Balastro	12	12											
Sala 36	Floresc.	7	58	1	400	Projector	1	170						
	Balastro	7	12											
Secretaria	Floresc.	22	58	10	400				Aquecedor	3	2000	Fax	1	26
	Balastro	22	12						Split interior	1	50	Máq. Escr.	1	15
	F. Comp	1	18									Impressora	1	800
												Microondas	1	800
												Frigorifico	1	95
Sala Educação Especial	Floresc.	4	58	2	400									
	Balastro	4	12											
	F. Comp	1	18											
SAS	Floresc.	4	58	2	400				Split interior	1	50	Central Alarmes	1	230
	Balastro	4	12											
Vestuário	Floresc.	1	36											
	Balastro	1	7,5											
	F. Comp	1	18											

Tabela 4.8 (c). Descrição das cargas elétricas do rés-do-chão.

Divisão	Iluminação			PCs		Projeção			Climatização			Outros		
	Tipo	Qt	Pot (W)	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)
Hall Entrada	Floresc.	2	58									Câmara Vigilância	1	25
	Balastro	2	12											
	Floresc.	2	8											
	Balastro	2	1,5											
WC Homens	Floresc.	2	36									Sec. mãos	1	250
	Balastro	2	7,5											
	F. Comp	1	18											
WC Homens CE	Floresc.	2	58									Sec. mãos	1	250
	Balastro	2	12											
	F. Comp	1	18											
WC Mulheres	Floresc.	2	36									Sec. mãos	1	250
	Balastro	2	7,5											
	F. Comp	1	18											
WC Mulher CE	Floresc.	2	58									Sec. mãos	1	250
	Balastro	2	12											
	F. Comp	1	18											

Tabela 4.9. Descrição das cargas elétricas da cave.

Divisão	Iluminação			PCs		Projeção			Climatização			Outros		
	Tipo	Qt	Pot (W)	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)
Arrecad.	Floresc.	4	36	2	400				Aquecedor	1	2000	Impressora	1	48
	Balastro	4	7,5											
Auditório	F. Comp	26	18	1	400	Projetor	1	170				Leitor DVD	1	20
	Floresc.	1	8											
	Balastro	1	1,5											
Biblioteca	F. Comp	156	18	16	400	Quad Int	1	170	Aquecedor	1	2000	TV LED	2	60
	Floresc.	6	8									TV LED	2	40
	Balastro	6	1,5									Leitor DVD	4	20
Sala 37	Floresc.	9	58	1	400	Quad Int	1	170						
	Balastro	9	12											
	Floresc.	4	36											
	Balastro	4	7,5											
Sala 37A	Floresc.	7	58	1	400	Projetor	1	170						
	Balastro	7	12											
	Floresc.	2	36											
	Balastro	2	7,5											
Sala 38	Floresc.	7	58	1	400	Projetor	1	170						
	Balastro	7	12											
Sala 39	Floresc.	15	58	1	400	Projetor	1	170						
	Balastro	15	12											
	Floresc.	4	36											
	Balastro	4	7,5											
Sala 40	Floresc.	6	58	1	400	Projetor	1	170				Leitor DVD	1	20
	Balastro	6	12											
	Floresc.	2	8											
	Balastro	2	1,5											
Hall Bibliot.	F. Comp	24	18											
Hall Salas	Floresc.	3	58											
	Balastro	3	12											
	Floresc.	2	8											
	Balastro	2	1,5											
WC	F. Comp	14	18											

Tabela 4.10. Descrição das cargas elétricas do sistema comunicações.

Equipamento	Qt	Pot(w)
UPS 2000va	1	1600
Cisco Wireless LAN Controllers	1	50
Cisco Catalyst 2960G-24TC-L Switch	2	72
Cisco Catalyst 2960G-48TC-L Switch	4	123
Cisco Catalyst 3560G-24PS-E	3	540
Dell poweredge r2000 server	1	345
UPS 1150va	3	770
Cisco Non-modular LWAPP Wireless-AG Access Point	9	12,95
Cisco Aironet Power Injector for 1230AG Series	5	18
UPS 1750va	2	1600
Cisco catalyst 2960 managed Ethernet switch	3	22

Tabela 4.11. Descrição das cargas elétricas dos edifícios adjacentes.

Divisão	Iluminação			PCs		Climatização			Outros		
	Tipo	Qt	Pot (W)	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)	Tipo	Qt	Pot (W)
ATL	Florescente	22	36	5	400	Aquecedor	3	1800			
	Balastro	22	7,5								
	Florescente	2	8								
	Balastro	2	1,5								
Balneários	Florescente	13	36						Máq. lavar roupa	1	1500
	Balastro	13	7,5						Secador mãos	2	250
	Florescente	2	8						Máq. secar roupa	1	2250
	Balastro	2	1,5						Bomba circulação	1	460
	Incandescente	2	75								
Casa Caldeira	Florescente	6	36						Bomba circulação	1	185
	Balastro	6	7,5						Bomba circulação	1	290
									Bomba circulação	3	245
									Bomba circulação	1	1350
Casa da horta	Florescente	2	36								
	Balastro	2	7,5								
	F. Compacta	3	18								
Casa sistema rega	F. Compacta	1	18						Bomba circulação	2	1500
Entrada escola	Florescente	3	36	1	400	Aquecedor	1	1800	Motores portão	2	280
	Balastro	3	7,5								
	F. Compacta	1	18								
Exterior	Florescente	2	58			Bomba calor	1	6000	Máq. Lavar roupa	1	1500
	Balastro	2	58			Split exterior	2	1250	Secador mãos	2	250
	Vapor sódio	48	250			Split exterior	3	2500	Extratores cozinha	2	1470
						Split exterior	2	2900			
Pavilhão e balneários	Florescente	10	58						Circulador ar	2	177
	Balastro	10	12						Bomba circulação	2	50
	Florescente	5	36								
	Balastro	5	7,5								
	Florescente	8	8								
	Balastro	8	1,5								
	F. Compacta	9	18								
	Vapor sódio	24	250								
	Incandescente	1	75								



Como se pode constatar através da figura 4.5, a iluminação, os computadores e a climatização representam 75% das cargas totais da escola. Os outros equipamentos representam 25% das cargas. Este valor elevado deve-se sobretudo aos equipamentos de confeção e armazenamento dos alimentos.

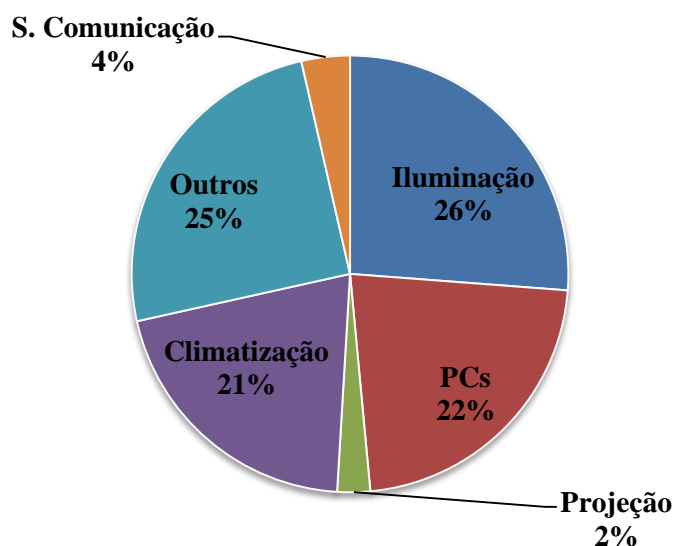


Figura 4.5. Relação das cargas elétricas.

#### 4.3.2. Gás Propano

Quanto aos consumos de gás propano podem ser divididos, em relação às cargas, em três grupos diferentes: produção de águas quentes sanitárias (AQS), climatização e confeção de alimentos. Na confeção de alimentos, os consumos de gás resumem-se aos fogões existentes na cozinha, para preparar as refeições servidas na cantina.

Relativamente à produção de AQS, a escola dispõe de duas caldeiras providas com o respetivo depósito de armazenamento, sendo que só uma se encontra em funcionamento devido ao facto do pavilhão gimnodesportivo e respetivo balneário se encontrarem fechados para remodelações. A escola dispõe ainda de um esquentador para uso exclusivo na cozinha.

A caldeira a gás, atualmente, em funcionamento é da marca “*FERROLI*” e modelo “*PEGASUS F2 N 105 24*”, e tem como caraterísticas principais: potência útil máxima de 99 kW e uma potência útil mínima de 59,5 kW. O respetivo depósito acumulador é da marca “*ACV*” e modelo “*JUMBO 1000*”, tem como caraterísticas principais: capacidade de 1000 litros, superfície de aquecimento acumulador sanitário de 5,5 m<sup>2</sup>, perda de carga de 101 mbar, caudal primário de 7800 l/h, pressão de serviço máxima no circuito das AQS de 10 bar, pressão de serviço máxima no primário de 5 bar. A caldeira a gás que atualmente se encontra desligada é igualmente da marca “*FERROLI*” e modelo “*PEGASUS F2*”, porém é um modelo mais antigo. Nas figuras 4.6 e 4.7, mostram-se a caldeira a gás da marca “*FERRULI*”, modelo “*PEGASUS F2 N 105 24*” e o depósito acumulador marca “*ACV*”, modelo “*JUMBO 1000*”, respetivamente. Na figura 4.8, apresenta-se a caldeira a gás “*FERRULI*,” modelo “*PEGASUS F2*”.



Figura 4.6. Caldeira a gás *FERRULI*, modelo *PEGASUS F2 N 105 24*.



Figura 4.7. Depósito acumulador *ACV*, modelo *JUMBO 1000*.

O esquentador para produção de AQS da cozinha é da marca “*Vulcano*”, Gama “*Click! Ventilado*” e modelo “*WRD-KME 17*”, e tem como características principais: potência útil de 30 kW, eficiência de 100% na carga nominal de 88,2%, eficiência de 30% na carga nominal de 75%, consumo de gás butano ou propano de 2,75 kg/h, caudal de água na posição máxima de 4,0 a 17,6 l/min. O esquentador é dotado de ignição eletrónica com modulação automática de chama, adaptando de uma forma totalmente automática, a chama às solicitações impostas pelo utilizador. Como segurança adicional, no caso de falta de corrente elétrica, o aparelho não funciona.



Figura 4.8. Caldeira a gás *FERRULI*, modelo *PEGASUS F2*.



Figura 4.9. Esquentador *Vulcano*, *Click! Ventilado*, modelo *WRD-KME 17*.

Em relação à climatização, a escola dispõe de um caldeira da marca “*Roca*” e modelo “*NG 400*”, que na realidade se resume a um conjunto de quatro caldeiras da marca “*Roca*”, modelo “*NG 100/110*” e tipo “*B 11*”, e cada uma tem como características principais: potência

nominal de 124 kW, pressão máxima de 3 bar e temperatura máxima de 95°C. Atualmente, esta caldeira encontra-se desligada por necessidade de remodelação da tubagem. Na figura 4.10, é mostrada a caldeira da marca “Roca”, modelo “NG 400”.



Figura 4.10. Caldeira da marca Roca, modelo NG 400

#### 4.4. Analisador de Redes

No estudo da rede de elétrica utilizou-se o analisador de qualidade de energia da *HIOKI*, modelo 3197, apresentado na figura 4.11. Este equipamento de medição programável mede calcula e regista em memória os principais parâmetros das grandezas elétricas de uma rede. O aparelho permite detetar perturbações na rede elétrica, fornecendo ao utilizador uma imagem das suas características principais através da monitorizar da variação dos parâmetros da rede ao longo de um determinado período.



Figura 4.11. Analisador de redes trifásicas HIOKI 3197.

As principais grandezas registadas pelo equipamento são as seguintes: valores RMS de tensão e de intensidade de corrente elétrica, frequência, potências ativa e reativa, potência aparente, fator de potência, consumo de energia, distorção harmónica e desequilíbrio de tensão. No registo dos dados referentes à rede de energia elétrica da escola, ligou-se o analisador de redes HIOKI 3197 no Quadro Geral situado na cave do edifício principal (figura 4.12).

As leituras foram recolhidas entre o dia 09/12/2013 e o dia 27/12/2013 (o período de medição estendeu-se até 27 de dezembro, de forma a abranger o período de férias escolares). Na figura 4.13, mostra-se a diagrama de carga registado pelo equipamento durante o período de medição.



Figura 4.12. Montagem do analisador no quadro geral da escola.

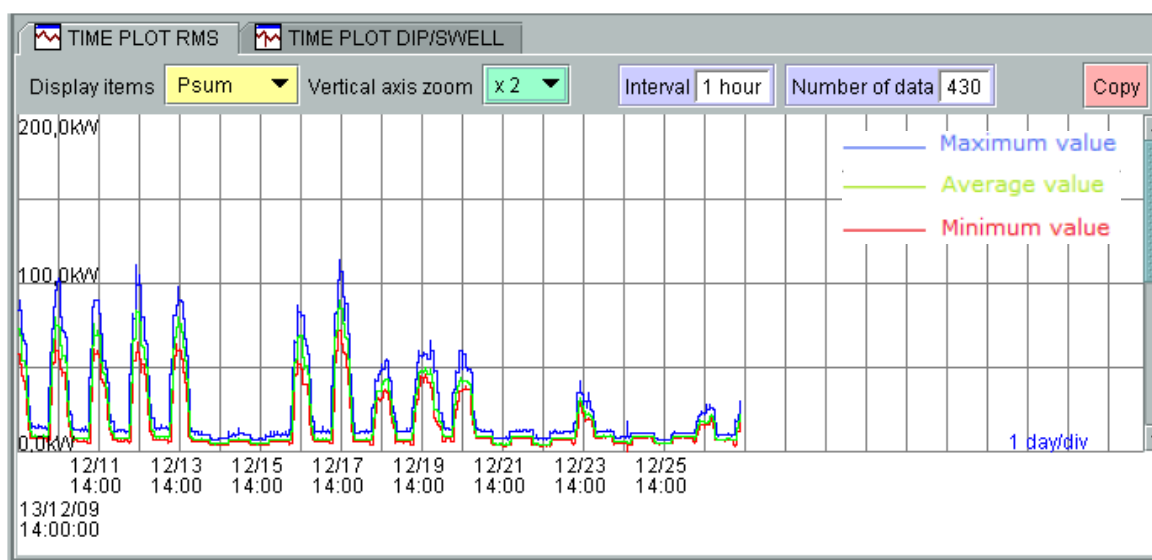


Figura 4.13. Diagrama de cargas.

Analisando o diagrama de cargas, constata-se que os valores das cargas apresentados têm uma evolução diferenciada consoante as atividades desenvolvidas na escola. Entre o dia 9 e o dia 13, e nos dias 16 e 17 os valores são relativamente constantes e correspondem aos valores

mais elevados de consumo por serem os dias em que a escola esteve em pleno funcionamento, (atingindo-se um pico acima dos 100 kW). Nos dias 14 e 15, assim como nos dias 21 e 22 verificou-se uma diminuição acentuada dos consumos, pois correspondem a dias de fim-de-semana e a escola se encontrar encerrada. A partir do dia 17 registou-se uma redução nas cargas durante os dias de semana, isto deveu-se ao facto dos alunos estarem em período de férias escolares e só se encontrarem em funcionamento os serviços administrativos da escola, algumas salas de reuniões e os serviços de limpeza da escola. No dia 24 e 25 também se verificou um baixo nível de cargas por ser Natal e a escola se encontrar encerrada. De forma a analisar os dados pormenorizadamente, apresentam-se nas figuras 4.14 e 4.15, os dados referentes às potências médias instantâneas registadas nos dias 12 e 15 de dezembro.

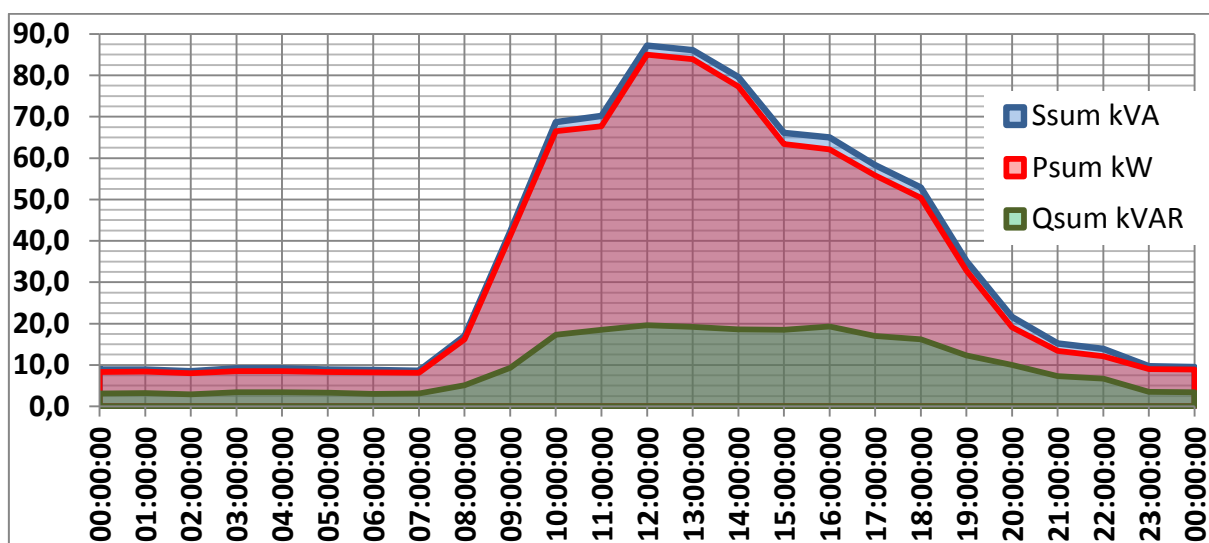


Figura 4.14. Potência média instantânea registada no dia 12/12/2013.

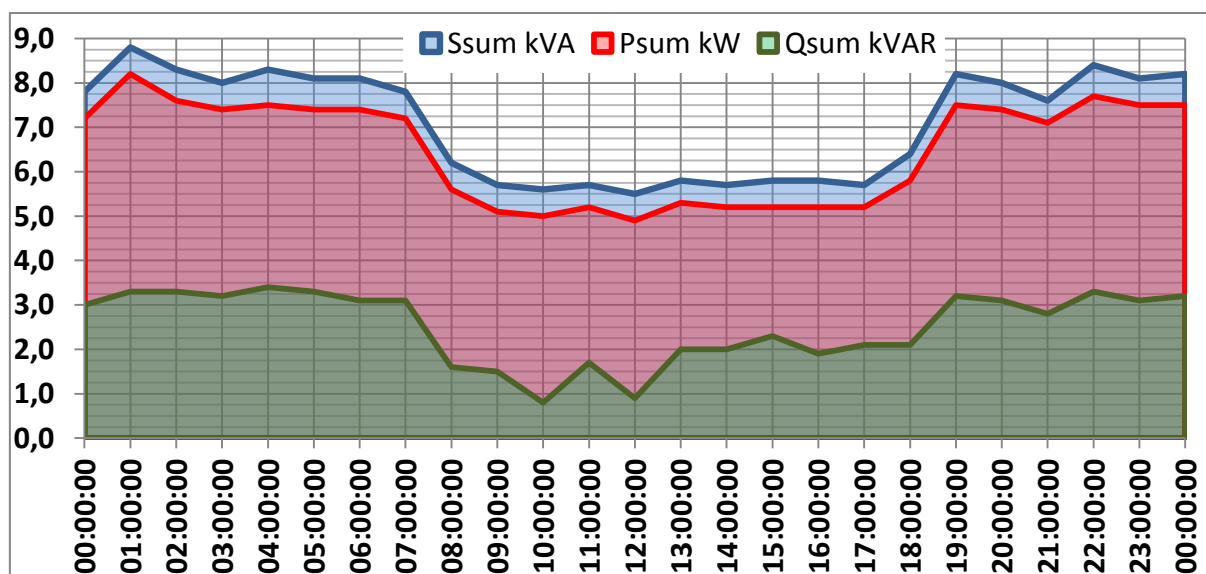


Figura 4.15. Potência média instantânea registada no dia 15/12/2013.

O dia 12, tal como foi referido anteriormente, corresponde a um dia em que a escola esteve a trabalhar no seu pleno, pelo que foi um dos dias em que se registou valores mais elevados nos

consumos. Entre a meia-noite e as sete horas da manhã, verifica-se uma carga mínima constante de aproximadamente 8 kW que está associada aos equipamentos da instalação que estão permanentemente ligados (arcas congeladoras, equipamentos de redes, entre outros) e à iluminação exterior que está ligada durante o período noturno. A partir das sete horas as cargas vão aumentando, associadas à gradual entrada de funcionários ao serviço e à chegada dos alunos e professores à escola. O pico de consumo regista-se por volta das doze horas, chegando aos 86 kW, que se deve ao aumento das cargas no refeitório e bar por se tratar da hora de almoço, e também nos locais mais frequentados durante o intervalo para almoço, como é o caso da biblioteca. A partir desta hora as cargas voltam gradualmente a baixar, com maior incidência por volta das dezoito horas, que é a hora a que os alunos e alguns professores deixam a escola. No final do dia, após o fecho da escola volta-se a registar os valores verificados durante o período noturno.

O dia 15 de dezembro, tal como foi mencionado anteriormente, apresenta um valor de consumos baixo por ser domingo e a escola se encontrar encerrada. Este dia pode-se dividir em três períodos, o primeiro período entre a meia-noite horas e as sete horas, o segundo período entre as sete horas e as dezanove horas e o terceiro período a partir das dezanove horas. O primeiro e o terceiro período apresentam cargas idênticas, enquanto no segundo período se verifica uma redução no consumo. Isto deve-se ao facto do segundo período representar a altura do dia em que se apagam as luzes exteriores, daí só ficarem as cargas fixas da instalação, que como se pode analisar representam uma carga constante de aproximadamente 5,5 kW.

Como se pode ver nos dados apresentados, existe uma proximidade entre os kW e os kVA registados e valores sempre bastante inferiores para os kVAr, o que é um bom indicador no que se refere ao fator de potência, cujos dados serão apresentados mais à frente em pormenor. No que refere à energia total consumida durante os dias em que o analisador esteve instalado, obteve-se diretamente do analisador o diagrama da figura 4.16, no qual se pode ver que durante o período em que o analisador esteve instalado verificou-se um consumo de energia elétrica de aproximadamente 8,784 MWh.

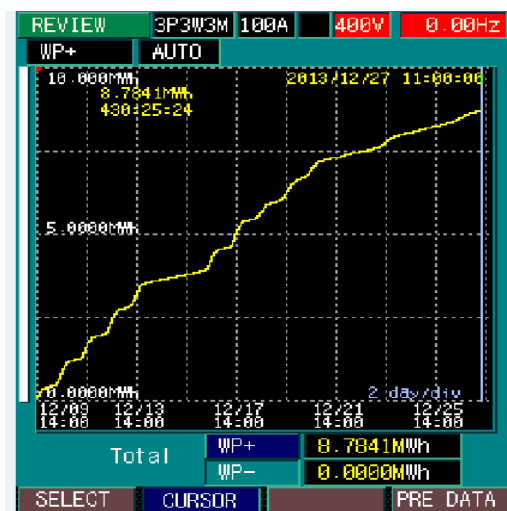


Figura 4.16. Somatório da energia total consumida



Relativamente ao fator de potência, cuja evolução durante o período em análise é mostrada na figura 4.17, verifica-se que os valores médios estão próximos de 1,0, não apresentando indícios de encargos significativos no que se refere às condições de pagamento à EDP. Recorde-se que o tarifário atualmente em vigor prevê a faturação a clientes consumidores de energia reativa, em horas fora de vazio (quando a instalação apresenta um fator de potência igual ou inferior a 0,93), e a clientes que injetem energia reativa na rede, durante as horas de vazio.

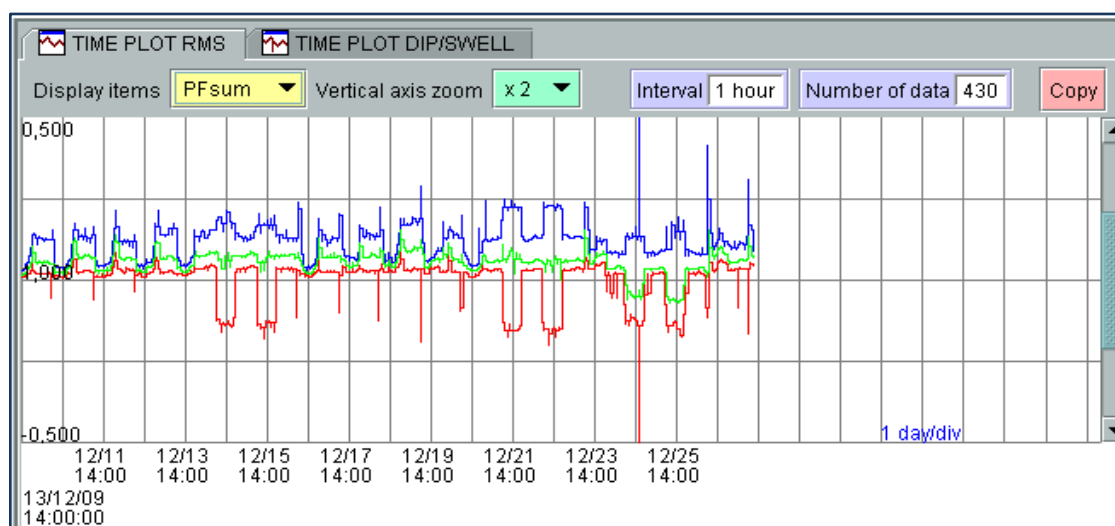


Figura 4.17. Evolução do fator de potência.

As restantes grandezas registadas pelo analisador de energia encontram-se no Anexo III e dizem respeito às potências reativa e aparente, bem como às tensões e às intensidades de corrente nas fases.

#### 4.5. Índice de Consumo Médio Mensal

O Índice de Consumo Médio Mensal por  $m^2$  (CMM), tal como o nome indica, consiste no consumo médio mensal de energia verificado na escola, por  $m^2$  de área útil total edificada da escola. Na equação seguinte está calculado este valor, em que  $Q_e$  é o consumo médio mensal de energia em kWh e  $A_e$  é a área útil total edificada em  $m^2$ .

$$CMM = \frac{Q_e}{A_e} = \frac{15226,8}{3.980,76} = 3,83 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{mês}$$

O valor do  $Q_e$  apresentado é a soma da média mensal do consumo de energia elétrica verificado nas respetivas faturas durante os últimos dois anos, com o consumo médio mensal de energia com gás a granel registado, igualmente, nos últimos dois anos. O valor referente ao gás a granel é o valor mais aproximado possível, uma vez que não existem registos de qual era a quantidade de gás existente no depósito aquando dos seus abastecimentos. Para saber a quantidade de energia existente nos abastecimentos de gás a granel, foi usado o fator de conversão de 12,85 kWh/kg (FOGAS, 2014), (LARCLI, 2012), valor este indicado pelos principais fornecedores atualmente existentes no mercado.

## 4.6. Análise da Melhor Opção Tarifária e Fator de Potência

No simulador disponibilizado pela ERSE para faturação de 2013, (ERSE, 2013), foram introduzidos os dados referentes à faturação de energia elétrica do período compreendido entre 15 de novembro de 2012 a 14 de novembro de 2013, com o objetivo de verificar se o consumidor Escola EB 2,3/S Pedro Ferreiro se encontra na melhor opção tarifária e avaliar, igualmente, a necessidade de proceder à compensação do fator de potência. Este simulador tem como objetivo sugerir a cada cliente em Baixa Tensão Especial a melhor opção tarifária de que dispõe, minimizando o valor anual da sua fatura de eletricidade e apoiar os clientes na escolher um novo fornecedor durante a fase de extinção da tarifa do comercializador de último recurso.

### 4.6.1. Opção Tarifária

A análise aos resultados obtidos permite concluir que, a instalação se encontra na melhor opção tarifária, isto é, BTE Longas Utilizações. Na tabela 4.9, apresentam-se os resultados obtidos com o simulador.

Tabela 4.12. Simulação da faturação das tarifas de energia elétrica para 2013 (ERSE,

Identificação da simulação: Escola Sec. de Pedro Ferreiro  
Localização: Continente  
Nível de tensão: BTE

Mês de consumo	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
<b>Potência ( KW )</b>													
Contratada	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94	94
Horas de Ponta	17	25	28	21	23	22	13	10	11	24	26	25	20
<b>Energia Ativa [kWh]</b>													
Horas de Ponta	2 128	3 073	3 100	2 647	2 778	2 756	1 607	1 255	1 312	2 909	3 162	2 951	29 678
Horas Cheias	6 375	10 022	9 853	6 588	5 957	5 829	4 003	3 062	3 188	6 570	8 606	9 504	79 557
Horas de Vazio Normal	1 257	1 298	1 322	1 460	1 427	1 048	1 466	1 304	1 350	1 616	1 634	1 323	16 505
Horas de Supervazio	925	949	943	1 041	1 016	1 054	1 018	928	970	1 094	1 048	956	11 942
<b>Energia reativa (kvarh)</b>													
Indutiva (fora do vazio)	2 271	3 148	2 908	2 579	2 803	2 879	2 105	1 846	2 061	3 193	4 062	3 032	32 887
Capacitiva (vazio)	7	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	7	17
<b>Faturação anual em 2013 (euros)</b>													
BTE LU	1 650	2 336	2 380	1 853	1 836	1 776	1 264	1 033	1 074	1 961	2 241	2 261	21 664
BTE MU	1 675	2 408	2 434	1 890	1 863	1 803	1 260	1 016	1 059	1 998	2 305	2 322	22 034
<b>Detalhe (custos incluídos no total da facturação anual)</b>													
Parcela de acesso às redes (incluída em Total)	793	1 092	1 145	907	926	897	632	524	544	976	1 073	1 068	10 578

### 4.6.2. Fator de Potência

A análise dos resultados obtidos e apresentados na tabela 4.10, permitem concluir que a energia reativa faturada, que representa um encargo mensal de cerca de 1,0 €, não justifica pela via económica qualquer tipo de alteração nos atuais sistemas de correção automática do fator de potência instalados na escola.



Tabela 4.13. Simulação da fatura mensal (ERSE, 2013).

Simulação de fatura mensal	
	[euros]
<b>BTE LU</b>	
potência contratada	135
potência em horas de ponta	404
energia ativa - ponta	360
energia ativa - cheias	715
energia ativa - vazio normal	97
energia ativa - super vazio	66
termo fixo	28
energia reativa - indutiva (fora de vazio)	1
energia reativa - capacitiva (vazio)	0
<b>Total (sem IVA)</b>	<b>1 805</b>
Parcela de acesso às redes	882

## 4.7. Perturbações que afetam a instalação

### 4.7.1. Desequilíbrio de fases

Num sistema elétrico perfeitamente equilibrado, a distribuição das cargas tem de ser feita equitativamente pelas fases, de forma que a corrente de neutro seja nula. Na prática, esta distribuição equitativa das cargas pelas fases não é possível, e as diferenças de carga provocam o aparecimento de corrente elétrica pelo condutor de neutro.

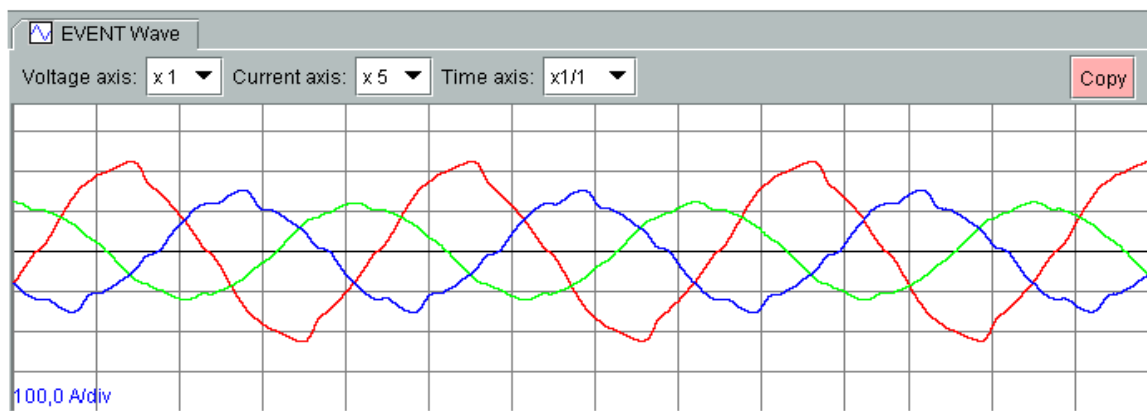


Figura 4.18. Forma de onda corrente sistema trifásico.

Como se pode verificar pela análise da figura 4.18, respeitantes aos dados obtidos na monitorização, existe uma divergência na relação entre as cargas distribuídas por cada fase, o que evidencia a existência de uma considerável corrente de neutro nos circuitos.

### 4.7.2. Poluição Harmónica

A má distribuição das cargas monofásicas num sistema trifásico, não é o único fator responsável pelo aparecimento de corrente no condutor neutro. Conforme anteriormente mencionado no ponto 2.3, existe um conjunto de equipamentos, como é o caso das lâmpadas fluorescentes e dos computadores, que contribuem significativamente para a degradação da qualidade da energia elétrica. As correntes fornecidas pelos sistemas retificadores são não

sinusoidais e possuem componentes harmônicas importantes que interferem com as cargas ligadas à rede. Isto é visível na figura 4.18, em que as formas de onda das correntes do sistema não são totalmente sinusoidais.

#### 4.7.3. Distorção Harmônica Total

Conforme apresentado no ponto 2.3.1, uma das formas de avaliar o conteúdo harmônico de uma onda é através da Distorção Harmônica Total, ou em língua inglesa, *Total Harmonic Distortion* (THD). A norma EN 50160 indica os limites ou valores característicos da tensão a que um cliente tem o direito, sendo definidas na norma várias grandezas, nomeadamente o *THD*. De acordo com a referida norma, a distorção harmônica total da tensão de alimentação, incluindo os harmônicos até à ordem 40, deve ser inferior a 8%.

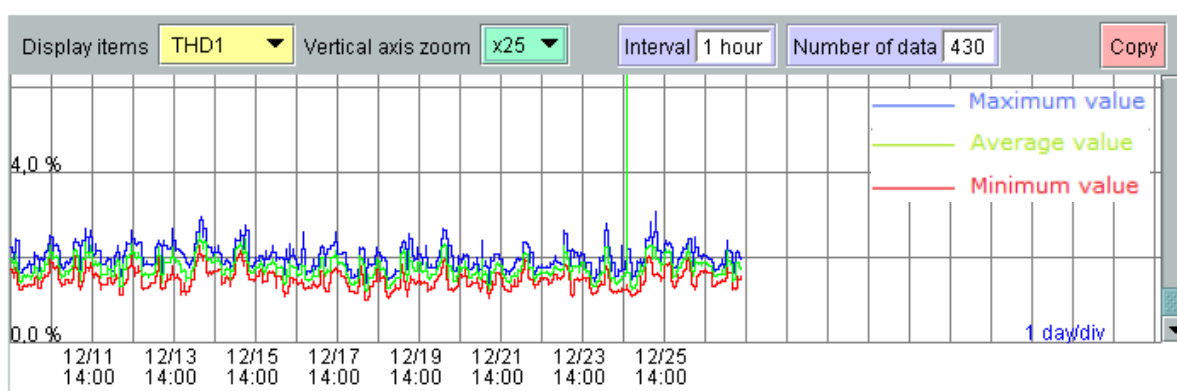


Figura 4.19. Representação da forma de onda do THD1.

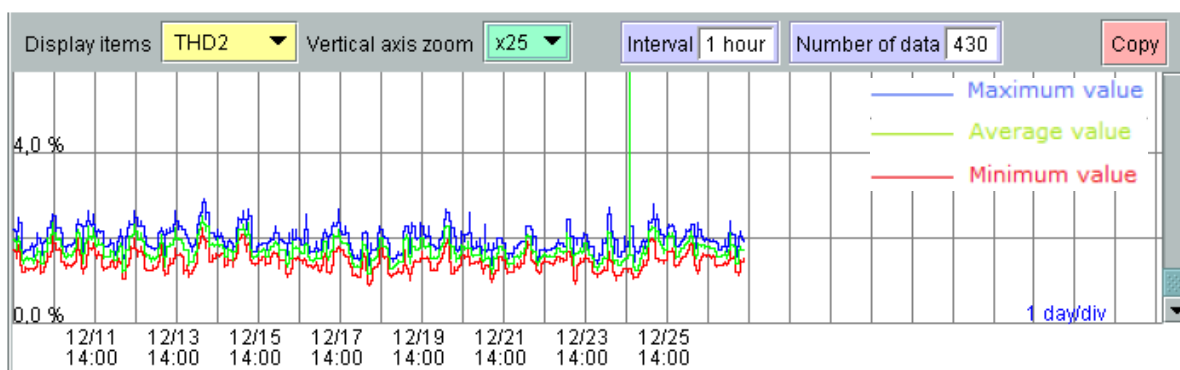


Figura 4.20. Representação da forma de onda do THD2.

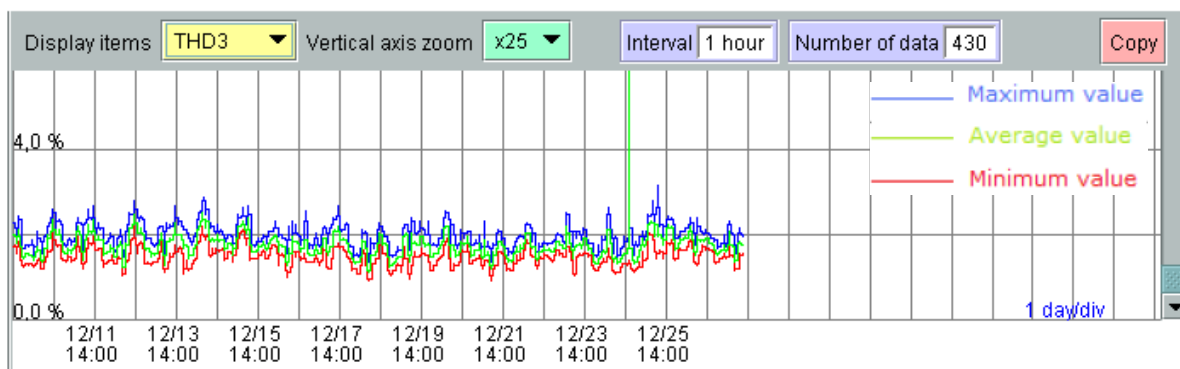


Figura 4.21. Representação da forma de onda do THD3.

Como se pode ver nas figuras 4.19., 4.20. e 4.21., os valores médios do *THD* situam-se perto dos 2%, pelo que o sistema elétrico se considera de boa qualidade, não justificando desta forma qualquer tipo de investimento na sua melhoria relativamente a este aspeto.

## 4.8. Envolvente

Um dos principais elementos a ter em consideração no que respeita às perdas térmicas de um edifício é a envolvente exterior deste. Neste caso em concreto, em que se está a falar de um edifício que remonta à década de 70 do século passado, a constituição da envolvente é feita através de materiais que não foram pensados para terem uma boa prestação a nível térmico. De seguida, são apresentados os dados referentes à constituição da envolvente exterior, nomeadamente dos envidraçados e das paredes em contacto com o exterior, e as respetivas perdas térmicas associadas.

### 4.8.1. Envidraçados

No que se refere à utilização de envidraçados em contacto com o exterior, estão representadas na tabela 4.11 as áreas em metros quadrados por cada divisão. Tal como referido anteriormente, atualmente, o sistema de aquecimento a gás está desligado para reparação, mas quando se encontrava em funcionamento, o que acontecia é que só era ligado algumas horas durante o período mais frio do dia. Como não há qualquer tipo de registo sobre as horas de trabalho reais que a caldeira estava ligada, e como esta não é a forma mais correta de utilização do sistema de climatização, foi considerado que a escola é aquecida constantemente durante a estação em que é necessário o aquecimento.

Segundo o Decreto-Lei n.º 80/2006, RCCTE, a energia necessária para compensar as perdas térmicas durante toda a estação de aquecimento, para elementos da envolvente exterior, é calculada segundo a seguinte fórmula:

$$Q_{ext} = 0,024 * U * A * GD \text{ (kWh)}$$

Em que o *GD* representa o número de graus-dias de aquecimento especificados para cada concelho, e que no caso do Concelho de Ferreira do Zêzere é de 1780, conforme se pode ver nas tabelas do Anexo I. O termo *U* representa o coeficiente de transmissão térmica e é apresentado em  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ , cujo método de cálculo é descrito no anexo XII do RCCTE, porém os valores de *U* para elementos construtivos mais comuns são apresentados na Publicação do LNEC “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da envolvente Exterior”. No que se refere ao caso dos envidraçados, os valores padrão de *U* são apresentados no Anexo I.

Os envidraçados da escola têm na sua generalidade como características a caixilharia de alumínio sem corte térmico, janelas de correr e vidro simples. Exceção esta que se verifica na parte reformulada da cave onde os envidraçados são de vidro duplo com espaçamento de 6 mm entre os vidros, mas sem qualquer tipo de corte térmico. Tendo em conta estas características e segundo os valores apresentados na publicação do LNEC, no caso do vidro

simples o valor do coeficiente de transmissão térmica é de  $6,5\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  e por sua vez no caso do vidro duplo é de  $4,5\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$  (Santos, 2006).

Tabela 4.14. Descrição dos envidraçados.

3º PISO	
Divisão	Simples
Sala 1	15,55
Sala 2	15,55
Sala 3	15,12
Sala 4	15,55
Sala 5	15,55
Sala 6	31,10
Sala 7	15,40
Sala 8	15,40
Sala 9	15,40
Sala 10	
Sala 11	15,50
Sala 11 A	15,40
Sala 12	15,40
Sala 13	15,80
Sala 13 A	15,00
Sala 14	
Sala 15	15,30
Sala 16	15,30
Sala 17	15,30
Sala 18	30,70
Sala 19	15,50
Sala 20	15,50
Sala 21	15,50
Sala 22	15,50
Sala 23	15,50
Sala 69	3,20
Arrecadação MP	3,20
Arrecad. Sala 11	
Arrecad. Sala 13	
Arrec. Hall Sala 3	
Arrec. Hall Sala 21	
Corredor	59,75
Hall Sala 3	
Hall Sala 12	
Hall Sala 21	
WC Homens	3,15
WC Mulheres	3,15
TOTAL	458,27

2º PISO	
Divisão	Simples
Sala 24	22,90
Sala 25	15,12
Sala 26	15,30
Sala 27	15,50
Sala 28	
Sala 29	
Sala 30	15,30
Sala 31	15,30
Sala 32	58,48
Sala 33	16,00
Sala 34	22,86
Sala 35	31,20
Sala 36	7,60
Arrecad. Sala 24	7,62
Arrecad. Sala 35	
Arrecadação 1	3,2
Buffet	75,84
Cons. Executivo	23,01
Corredor	130,40
Gabin. Psicologia	7,50
Papelaria	
PBX	
Pessoal Aux1	3,20
Pessoal Aux2	15,30
Reprografia	3,20
Refeitório/Cozinha	103,40
Sala Ed. Especial	15,18
Salas Professores	31,00
SAS	7,80
Secretaria	30,70
Vestuários	3,20
Hall Entrada	10,30
WC Mulheres	3,20
WC Homens	3,20
WC Homens CE	3,20
WC Mulheres CE	3,20
TOTAL	719,21

1º PISO		
Divisão	Simples	Duplo
Sala 37A	17,38	
Sala 37	5,35	
Sala 38	17,52	
Sala 39	24,10	
Sala 40		
Hall salas		
Arrecad.		123,54
Auditório		
Biblioteca		
Hall Biblio.		
WC		
TOTAIS	64,35	123,54
	187,89	

EDIFICIOS EXTERIORES	
Divisão	Simples
ATL	34,20
Entrada Escola	5,89
TOTAL	40,09

O termo *A* representa a área do elemento da envolvente medida pelo interior e é expressa em  $\text{m}^2$ . No caso do edifício escolar os valores das áreas são apresentados na tabela 4.11.

Tendo em conta os valores apresentados, a energia necessária para compensar as perdas térmicas referente ao vidro simples é de:

$$Q_{ext} = 0,024 * 6,5 * 1281,92 * 1780 = 355,964 \text{ MWh}$$

No caso do vidro duplo é de:

$$Q_{ext} = 0,024 * 4,5 * 123,54 * 1780 = 23,749 \text{ MWh}$$

No total:

$$Q_{ext} = 355,964 + 23,749 = 379,713 \text{ MWh}$$

Tendo em conta a atual caixilharia utilizada no edifício, prevê-se uma perda de energia térmica associada de aproximadamente 379,713 MWh. Este é um valor muito elevado, e que está associado ao facto de haver uma grande área de caixilharia no edifício escolar e por este, tal como referido anteriormente, ser de muito fraca qualidade em termos de resistência térmica. Como tal, deve-se considerar a substituição da atual caixilharia por uma com melhor desempenho térmico, da qual se destaca as janelas de vidro duplo com espaçamento de 16 mm, corte térmico e caixilho em alumínio ou PVC.

#### 4.8.2. Paredes exteriores

A constituição das paredes exteriores da escola resume-se a blocos de betão sem qualquer tipo de isolamento, o que se traduz numa elevada perda térmica para o exterior. Para proceder ao cálculo destas perdas, segundo o RCCTE, tem-se o coeficiente de transmissão térmica superficial em zona corrente,  $U$ , que é a quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa uma superfície de área unitária desse elemento da envolvente por unidade de diferença de temperatura entre os ambientes que ele separa, e é calculado pela seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}}$$

em que

$R_j$  – resistência térmica da camada  $j$  ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ),

$R_{si}$ ,  $R_{se}$  – resistências térmicas superficiais interna e externa, respetivamente, ( $\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{W}$ ).

É de salientar que o valor de  $U$  de um elemento da envolvente depende de vários fatores, nomeadamente se se tratar de um único elemento construído por camadas homogéneas ou heterogéneas, se inclui ou não a presença de espaços de ar e do grau de ventilação desses espaços de ar. Neste caso em concreto, trata-se de paredes homogéneas de um único elemento e sem qualquer tipo de espaços de ventilação. No Anexo I, encontram-se as tabelas com os valores de referência a adotar.

$$U = \frac{1}{0,13 + 0,27 + 0,04} = 2,27 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

O valor calculado está muito acima do valor máximo estabelecido no RCCTE, que é de  $1,6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  para as zonas climáticas  $I_2$ .

As perdas de calor por condução através da envolvente exterior do edifício,  $Q_{ext}$ , são dadas pela seguinte fórmula:

$$Q_{ext} = 0,024 \cdot \sum_j U_j \cdot A_j \cdot GD$$

em que

$U_j$  – coeficiente de transmissão térmica do elemento  $j$  da envolvente ( $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ),

$A_j$  – área ( $\text{m}^2$ ),

$GD$  – número de graus-dias da localidade em que se situa o edifício ( $^\circ\text{C} \cdot \text{dia}$ ).

Neste caso em particular, vai-se analisar qual é a perda térmica da envolvente durante a estação de aquecimento por metro quadrado de envolvente.

$$Q_{ext} = 0,024 \cdot 2,27 \cdot 1780 = 97,09 \text{ kWh/m}^2$$

Como se pode analisar pelos resultados obtidos, durante a estação de aquecimento, verifica-se uma perda de aproximadamente  $97,09 \text{ kWh}$  de energia por  $\text{m}^2$  de envolvente do edifício, o que representa uma perda térmica muito elevada. Devido a este facto é aconselhado, logo que seja possível, a aplicação de um isolamento em toda a envolvente do edifício que se pretenda climatizar.

#### 4.9. Aquecimento

Tal como já foi referido anteriormente, a climatização dos serviços administrativos e de algumas zonas específicas do edifício é feita à base de sistemas tipo *split* e por uma bomba de calor, equipamentos estes que são de alta classificação energética. Mas a sua manutenção é um pouco deficitária, sendo aconselhado um plano de manutenção periódico deste tipo de equipamento para proporcionar o seu bom funcionamento.

O aquecimento das salas de aula é feito através de uma caldeira a gás, mas devido à necessidade de remodelação da tubagem, esta encontra-se desligada, só sendo feito o aquecimento de algumas salas consideradas mais frias recorrendo a aquecedores. No entanto, verifica-se que estes aparelhos são de baixa eficiência energética, pelo que a sua utilização é desaconselhada.

O sistema de sombreamento utilizado nos envidraçados resume-se a persianas interiores, e no caso da parte mais antiga do edifício, já se encontram bastante degradadas. Este não é o sistema mais adequado para o verão, pois este tipo de persianas não evita a entrada da radiação solar no edifício, e com a agravante que se estar a falar de um edifício na zona climática  $V_3$ . Pelo que o ideal era que as atuais persianas fossem substituídas por persianas exteriores, com principal destaque para as fachadas onde existe maior incidência solar, nomeadamente nas fachadas orientadas a sudeste e a sudoeste.

As caixas de iluminação natural são feitas à base de material bastante condutor, o que prejudica o desempenho térmico do edifício. É aconselhado a sua substituição por claraboias basculantes com vidro duplo, de forma a facilitar a circulação de ar no verão, o que é uma mais-valia para o conforto dos ocupantes do edifício, tendo em conta que este não possui qualquer tipo de sistema de ventilação forçada.

Ao nível do isolamento das tubagens de aquecimento, encontram-se bastantes falhas por todo o edifício, nomeadamente a deterioração deste associado às condições atmosféricas. Em alguns casos não é mesmo utilizado qualquer tipo de isolamento, conforme ilustrado na figura 4.22. Estes factos devem ser rapidamente revistos, pois são casos rápidos de resolver e com baixo custo associado, mas que representam um ganho energético considerável.



Figura 4.22. Tubagem sem isolamento.

#### 4.10. Águas Quentes Sanitárias

No que se refere à produção de AQS, tal como mencionado anteriormente, esta é feita através de caldeiras a gás, um esquentador e um termoacumulador com resistência elétrica. Todos estes equipamentos têm uma baixa classificação energética, porém o termoacumulador é o que representa maior custo por kW de energia térmica produzida. Isto é devido ao maior preço da energia elétrica face ao gás propano, pelo que a utilização deste equipamento em termos energéticos é desaconselhado.

Durante as visitas à escola notou-se uma falta de manutenção das caldeiras a gás, apresentando em algumas zonas um considerável nível de degradação, pelo que é aconselhado, também aqui, a elaboração de um plano de manutenção periódico.

Ao nível do isolamento das tubagens e equipamentos para produção de AQS, encontram-se bastantes falhas por todo o edifício, nomeadamente a deterioração deste associado às condições atmosféricas e à falta de manutenção, conforme ilustrado na figura 4.23. Em alguns casos não é mesmo utilizado qualquer tipo de isolamento, conforme ilustrado na figura 4.24. Estes factos têm de ser rapidamente revistos, pois são casos rápidos de resolver e com baixo custo associado, mas que representam um ganho energético considerável.



Figura 4.23. Permutador de placas e tubagens das AQS sem isolamentos.



Figura 4.24. Tubagens das AQS sem isolamento.

Tendo como base a fotografia termográfica mostrada na figura 4.25., é de seguida estimado o fluxo de calor transmitido pelo tubo para o exterior, considerando um metro de comprimento de tubo. Considerando que o tubo se encontra completamente exposto ao ar, só é considerado o fluxo de calor por convecção natural e por radiação.

Como se pode ver na figura 4.25., a temperatura superficial média do tubo ( $T_s$ ) andar­á próxima dos  $90^{\circ}\text{C}$  e a temperatura do fluido suficientemente longe da superfície ( $T_{\infty}$ ) próxima dos  $20^{\circ}\text{C}$ . O tubo é de ferro galvanizado de  $1'' \frac{1}{2}$ , o que representa um diâmetro externo de 48,25mm. O tubo encontra-se na horizontal.

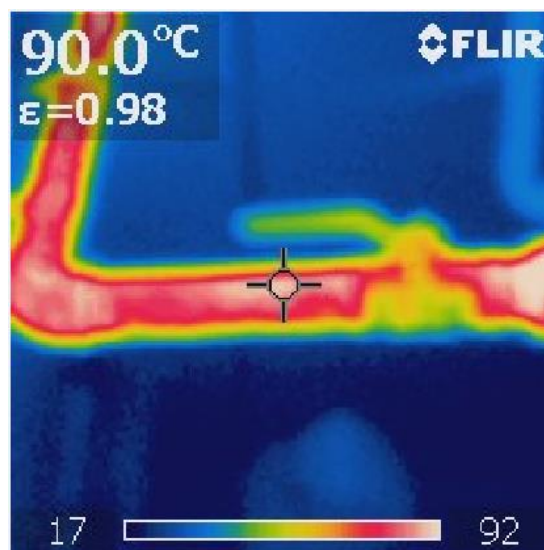


Figura 4.25. Fotografia termográfica da tubagem das AQS.



**Fluxo de calor por convecção natural por uma parede cilíndrica disposta na horizontal:**

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2} = \frac{90 + 20}{2} = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tendo em conta que o sistema se encontra à pressão de 1,0 atm e que  $T_f$  é de 55°C, obtém-se os seguintes valores:

$$k = 0,027715 \text{ W/m.K}$$

$$Pr = 0,7215$$

$$\nu = 1,847 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Estes dados podem ser consultados nas tabelas do Anexo I.

- Coeficiente do volume de expansão:

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{328,15 \text{ K}}$$

- Número de Rayleigh:

$$Ra_D = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3}{\nu^2} Pr = \frac{9,81 * \left(\frac{1}{328,15}\right) * (90 - 20) * 0,04825^3}{(1,847 * 10^{-5})^2} * 0,7215 = 4,97 * 10^5$$

- Número de Nusselt:

$$Nu = \left[ 0,6 + \frac{0,387 Ra_D^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 = \left[ 0,6 + \frac{0,387 * (4,97 * 10^5)^{\frac{1}{6}}}{\left[ 1 + \left( \frac{0,559}{0,7215} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right]^2 = 11,993$$

- Coeficiente de transmissão térmica superficial:

$$h = \frac{k}{D} Nu = \frac{0,027715}{0,04825} * 11,993 = 6,889 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}$$

- Área superficial:

$$A_S = \pi DL = \pi * 0,04825 * 1 = 0,1516 \text{ m}^2$$

$$\dot{Q}_{conv} = hA_S(T_s - T_\infty) = 6,889 * 0,1516 * (363,15 - 293,15) = 73,11 \text{ W}$$

O fluxo de calor por convecção natural estimado é de 73,11 W num metro de tubo.

**Fluxo de calor por radiação:**

Considerando as características do material constituinte do tubo, a constante de emissividade deste é de 0,28. Dado disponível nas tabelas do Anexo I.

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon A_S \sigma (T_S^4 - T_\infty^4) = 0,28 * 0,1516 * 5,6697 * 10^{-8} (363,15^4 - 293,15^4) = 24,08 \text{ W}$$

O fluxo de calor por radiação estimado é de 24,08 W num metro de tubo.

$$\dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{conv} + \dot{Q}_{rad} = 73,11 + 24,08 = 97,19 \text{ W}$$

De acordo com os cálculos apresentados o fluxo de calor total perdido para o exterior é de 97,17 W num metro de tubo.

**4.11. Iluminação**

O projeto de uma instalação de iluminação deve proporcionar o conforto e um nível de iluminação que permita realizar corretamente os trabalhos praticados no respetivo local, tendo em atenção os consumos energéticos e os custos associados. Desta forma, torna-se particularmente importante instalar equipamentos que proporcionem os níveis de iluminação necessários ao desempenho das atividades, reduzindo quer o consumo de energia elétrica quer os custos de manutenção dos sistemas de iluminação, sem com isso diminuir as condições de conforto visual necessárias ao desempenho das tarefas.

Durante as diversas visitas às instalações foi possível detetar diversos problemas, dos quais se destacam os seguintes:

- Não existência de regulação de fluxo luminoso;
- Os balastros existentes são magnéticos;
- Não existe qualquer consideração pela temperatura de cor das lâmpadas utilizadas, em que dentro da mesma divisão se verifica a utilização de lâmpadas com temperaturas de cor diferenciadas, em que o ideal era a utilização de lâmpadas com uma temperatura de cor mais fria, uma vez que se está a falar de uma escola e são lâmpadas que não provocam tanta sonolência;
- As substituições efetuam-se por avaria e por tecnologia semelhante à instalada;
- Não existe manutenção programada para limpeza de armaduras e substituição de lâmpadas ou balastros em fim de vida;
- A iluminação dos sanitários e corredores encontra-se ligada ininterruptamente durante todo o período de funcionamento das instalações, devido à inexistência de detetores de presença;
- Não existe regulação de fluxo dependente da luz do dia, para que seja obtida por recurso à energia elétrica apenas a diferença para o nível de iluminância recomendado;
- Não existe separação do sistema de atuação das luminárias dentro da mesma divisão, em que só se consegue acender ou desligar todas as lâmpadas ao mesmo tempo, com exceção para a iluminação dos quadros;

- Na maioria dos casos não tirado o devido partido da iluminação natural, conforme ilustrado na figura 4.26, em que estão todas as persianas fechadas a impedir a passagem de luz natural e se está a utilizar iluminação artificial;
- Desajustamento dos focos utilizados e respetiva localização, com o fluxo luminoso a não ser devidamente direcionado, conforme ilustrado na figura 4.27, em que parte do fluxo luminoso vai diretamente para o exterior sem ser devidamente aproveitado.



Figura 4.26. Biblioteca.



Figura 4.27. Caixa de iluminação natural.

Um dos fatores que habitualmente contribui para a depreciação dos refletores é a deposição/acumulação de poeira nas lâmpadas e nas respetivas armaduras, principalmente junto às áreas quentes próximas da lâmpada. Por efeito do calor, essas impurezas vão sofrer um “cozimento” e aderir em finas camadas ao refletor, provocando o aparecimento de manchas que reduzem a sua refletância, da qual resulta um decréscimo do nível de iluminância nos espaços.

Estes efeitos podem ser minimizados recorrendo a um plano de manutenção programada, que preveja a remoção periódica do pó, bem como a substituição periódica das lâmpadas (substituição em grupo). A não utilização de esquemas corretos de manutenção e substituição de lâmpadas, bem como a falta de manutenção dos espaços envolventes, origina uma depreciação do fluxo luminoso.

#### 4.11.1. Níveis de Iluminação

Cada local requer um nível de iluminância específico em função das tarefas aí realizadas, estes valores são especificados na norma EN12464-1 e encontram-se no Anexo I. Tendo em conta a dimensão da escola, foram escolhidos três locais com características distintas, para se fazerem as leituras dos níveis de iluminância registados no local e o levantamento de todas as cargas referentes à iluminação e respetivas características, bem como as respetiva localização/distribuição das cargas. Os locais escolhidos foram o *Hall* junto à Sala 21, a Sala 6 e a Sala 11.

Em cada um destes locais foram feitas três leituras diferenciadas, a primeira aproveitando a luz natural do dia e com a iluminação toda desligada, a segunda aproveitando a luz natural do dia e com toda a iluminação ligada e a terceira durante o período da noite com toda a

iluminação ligada. Estes diferentes ensaios tiveram como objetivo analisar se a instalação respeita a respetiva norma em vigor, se existe uma incorreta distribuição da iluminação, se existe um sobredimensionamento da iluminação e tentar analisar até que ponto pode ser aproveitada a luz natural nas diversas divisões em vez da luz artificial. Na tabela 4.12, são apresentadas as leituras registadas, bem como os requisitos da norma no que se refere à iluminância (valores dados em lux).

Tabela 4.15. Leituras registadas e especificações da norma EN12464-1.

Local		Dia, iluminação <i>Off</i>			Dia, iluminação <i>On</i>			Noite, ilum. <i>On</i>			Recom endado
		Máx.	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	
<b>Hall Sala 21</b>	Corredor	290	55	180	570	125	380	335	105	230	100
	Escadas										150
<b>Sala 6</b>	Sala	3300	1100	1936	3500	1500	2253	1190	200	565	300
	Quadro										500
<b>Sala 11</b>	Sala	1650	95	560	3300	530	1495	1090	280	562	300
	Quadro										500

De salientar que as leituras, no que se refere ao período do dia, foram feitas por volta das 16h:30m, num dia encoberto, pelo que num dia normal com o céu limpo os níveis de iluminância registados seriam bastante mais elevados.

Através da análise dos dados apresentados, pode-se ver que o atual sistema de iluminação não está devidamente ajustado às necessidades das divisões em estudo, apresentando diversas falhas que serão apresentadas mais à frente. Para fazer uma avaliação mais correta do atual sistema de iluminação instalado nas divisões em estudo, recorreu-se ao programa DIALUX, programa este que permite fazer a simulação dos sistemas de iluminação. Nas figuras 4.28, 4.29 e 4.30, são apresentados os resultados das respetivas simulações em estudo no DIALUX, para cada uma das divisões em análise. No Anexo IV, são mostradas figuras adicionais com dados referentes às simulações das respectivas divisões.

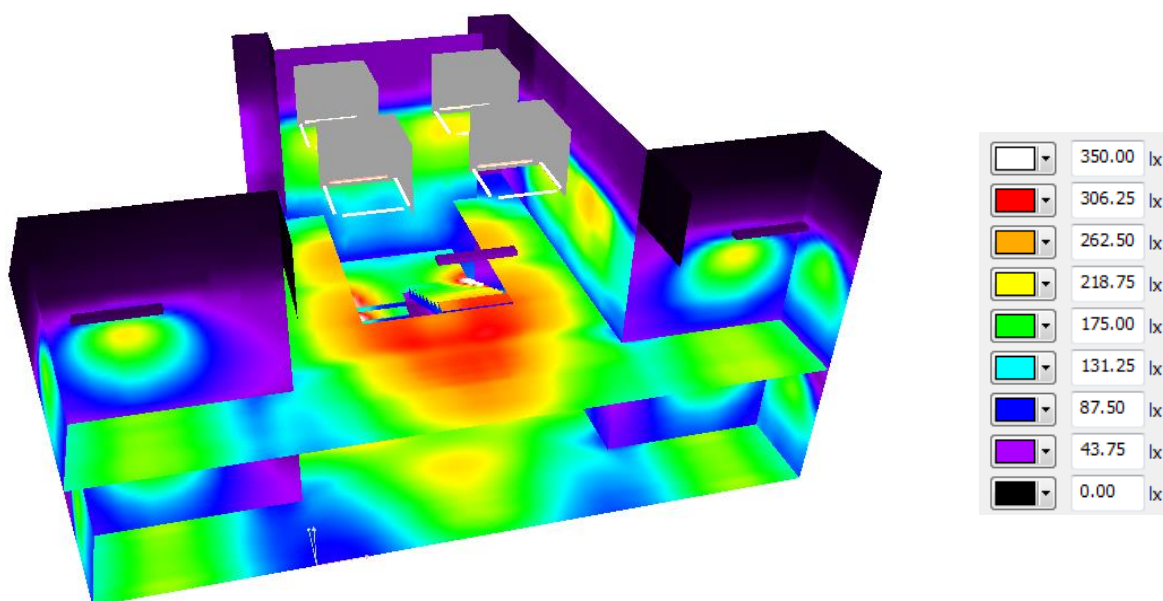


Figura 4.28. Simulação do *Hall* junto à Sala 21.

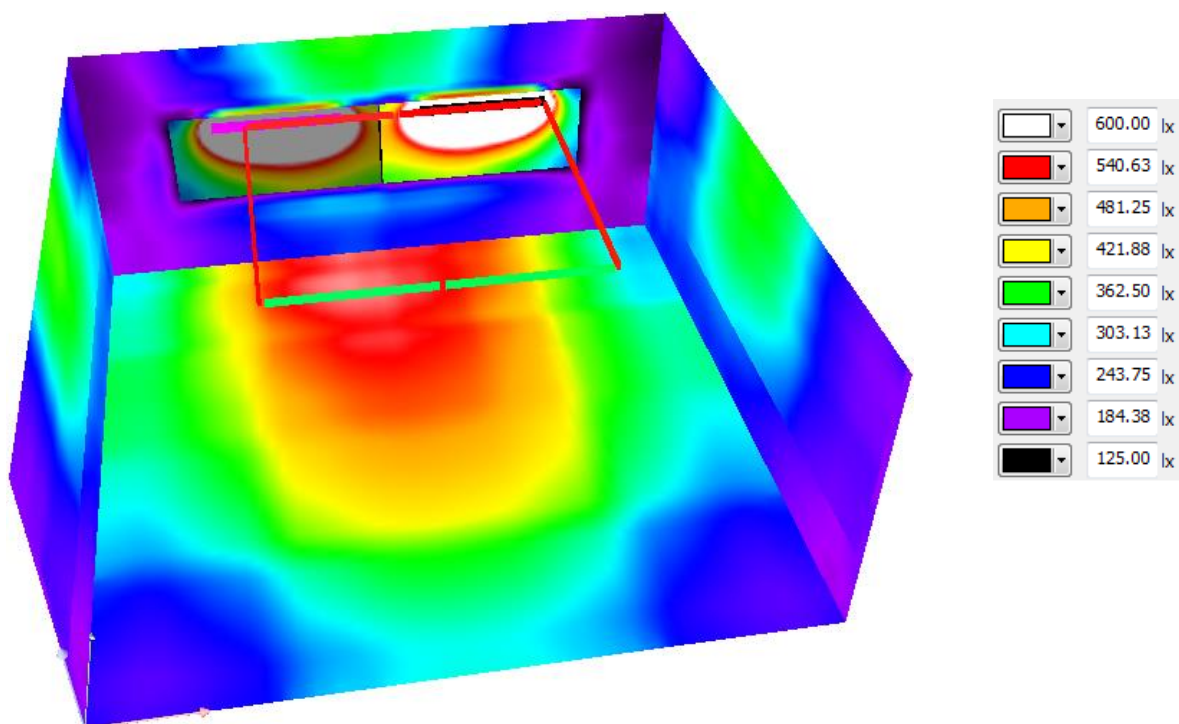


Figura 4.29. Simulação da Sala 6.

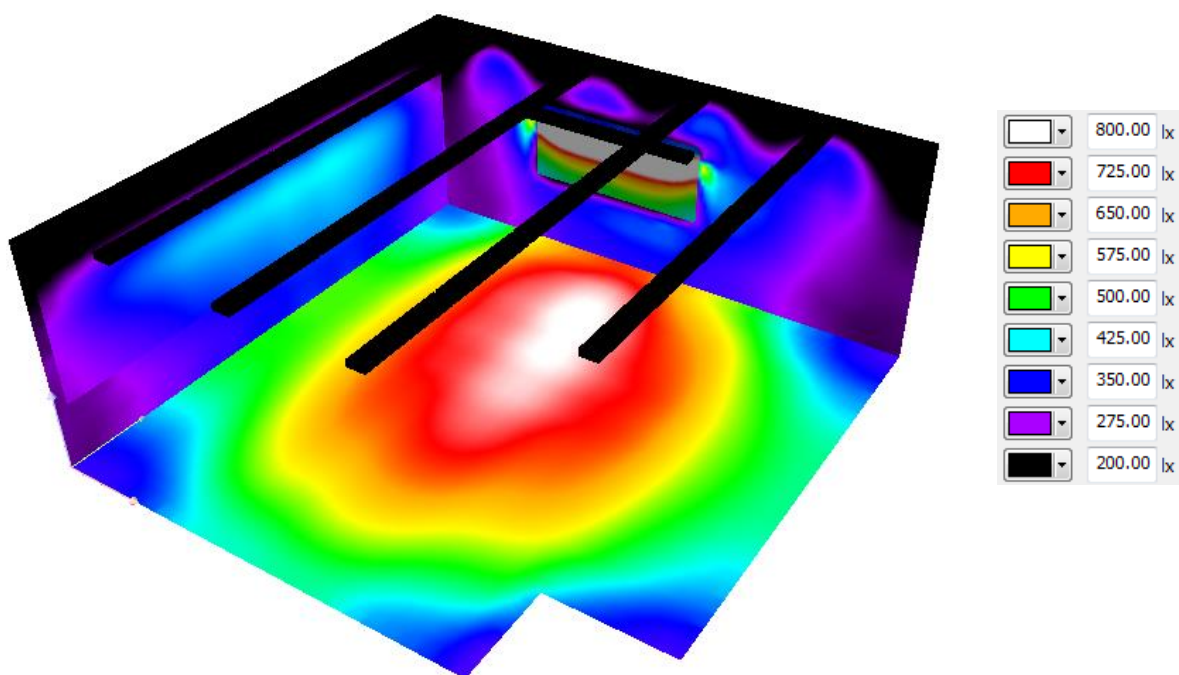


Figura 4.30. Simulação da Sala 11.

Como se pode ver nas figuras anteriores, existem diversas lacunas no sistema de iluminação, nomeadamente:

- Incorreta distribuição da luminosidade, chegando a haver diferenças entre zonas da mesma divisão superiores a 450 lux;
- Zonas com demasiada luminosidade, tendo em conta as recomendações estabelecidas pela norma;

- Incorreta orientação dos sistemas de iluminação, como acontece no *Hall* junto à sala 21 e que se pode ver mais em pormenor na figura 4.31, em que parte da luminosidade é enviada diretamente para o exterior.

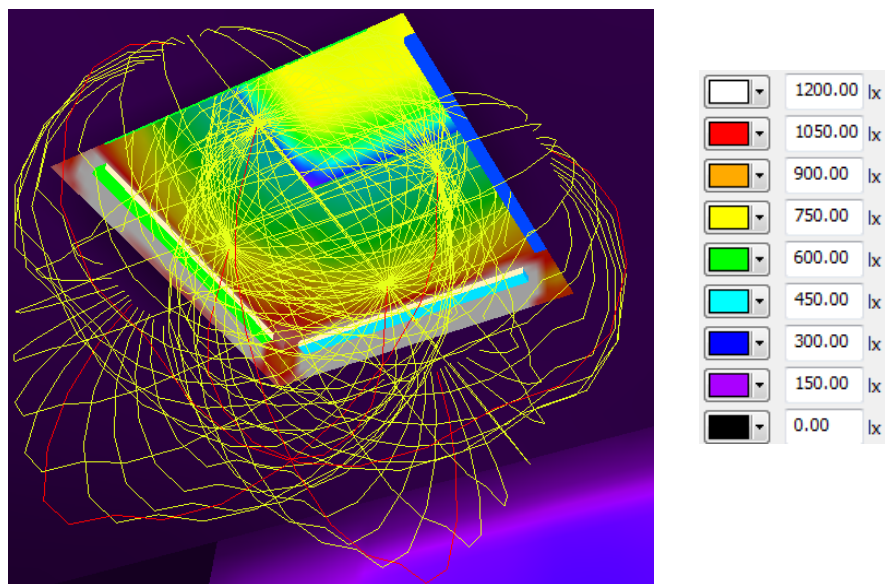


Figura 4.31. Simulação claraboia do *Hall*.

## 5. ANÁLISE DOS RESULTADOS E PROPOSTAS DE RACIONALIZAÇÃO DE CONSUMOS

Através dos resultados obtidos no Capítulo 4 do presente trabalho, conjugados com os equipamentos eficientes e conceitos anteriormente abordados no Capítulo 2, é possível identificar oportunidades de racionalização do consumo de energia, que tornam o edifício mais eficiente, adequando as cargas à filosofia da utilização racional e propondo medidas corretivas para os problemas encontrados.

Cada oportunidade de racionalização de consumos e cada proposta de resolução de anomalia e/ou perturbação que envolva investimento, foi tratada como um projeto de racionalização, o qual foi avaliado técnica e economicamente, para calcular a poupança anual de energia decorrente da aplicação dessa medida, estimar o custo de implementação e avaliar o tempo de retorno da mesma. Para possibilitar estes cálculos, tiveram particular importância os orçamentos fornecidos por empresas.

### 5.1. Envidraçados

Considerando as características e respetivo custo, vai-se optar por janelas de vidro duplo com espaçamento de 16 mm, caixilharia de correr e com corte térmico. No primeiro caso opta-se por caixilharia em alumínio, que apresenta um  $U$  de  $3,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , e no segundo caso por caixilharia em PVC, que apresenta um  $U$  de  $2,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ , valores estes apresentados nas tabelas do Anexo I. No caso do alumínio o  $Q_{ext}$  vai ser de aproximadamente 197,3 MWh.

$$Q_{ext} = 0,024 * 3,3 * 1.399,57 * 1.780 = 197,305 \text{ MWh}$$

Comparando este valor com o anteriormente calculado, pode-se ver que existe uma redução em termos térmicos de aproximadamente 180,8 MWh.

$$Ganho = 378,077 - 197,305 = 180,772 \text{ MWh}$$

No caso do PVC, o  $Q_{ext}$  vai ser de aproximadamente 161,4 MWh.

$$Q_{ext} = 0,024 * 2,7 * 1.399,57 * 1.780 = 161,432 \text{ MWh}$$

Comparando este valor com o anteriormente calculado, pode-se ver que existe uma redução em termos térmicos de aproximadamente 216,6 MWh.

$$Ganho = 378,077 - 161,432 = 216,645 \text{ MWh}$$

Tendo em conta que o custo do gás referente à última fatura é de 1,6693 €/kg e que o poder calorífico do gás propano a granel é de 12,85 kWh/kg (FOGAS, 2014), (LARCLI, 2012), então o custo do gás por MWh é de:

$$Preço = \frac{1,6693}{12,85} * 1000 = 129,907 \text{ €/MWh}$$



O atual sistema de aquecimento é uma caldeira a gás, porém devido a não ser um equipamento recente é difícil saber qual é o seu rendimento, pelo que se vai assumir um rendimento de 0,87, conforme indicado nas tabelas do Anexo I, então a poupança com a troca de envidraçados por ano é de:

– No caso do alumínio

$$\frac{129,907 * 180,772}{0,87} = 26.992,58\text{€}$$

– No caso do PVC

$$\frac{129,907 * 216,645}{0,87} = 32.349,08\text{€}$$

O custo para a substituição dos envidraçados por alumínio com corte térmico ronda os 215.000 €. Tendo em conta a poupança anual de aproximadamente 26.993 €, este é um investimento com um prazo de retorno de aproximadamente 8 anos. Para o caso do PVC, atendendo à poupança anual calculada, prevê-se um retorno do investimento com um prazo inferior ao verificado para o alumínio.

## 5.2. Isolamento Paredes Exteriores

Dentro do grupo dos isolamentos exteriores existem vários tipos de isolamento e formas de aplicação, neste caso a solução considerada é a aplicação do sistema *ETICS*, também conhecido por “Capoto”. Este sistema consiste na aplicação de placas de isolamento, tipo EPS, XPS, lã de rocha, cortiça, entre outras, pelo lado exterior do edifício juntamente com argamassas e colas para fixação destas barras e que dão o acabamento final à fachada.

Neste caso, vai-se considerar a aplicação de barras de EPS (poliestireno expandido moldado), por ser a solução mais utilizada e por sua vez a mais aconselhada, considerando placas com uma espessura de 50 mm. Como se pode consultar nas tabelas no Anexo I e na diversa bibliografia nesta área, o EPS apresenta uma condutibilidade térmica de 0,037 W/m.°C.

$$U = \frac{1}{0,13 + 0,27 + 1,351 + 0,04} = 0,56 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Q_{ext} = 0,024 * 0,56 * 1.780 = 23,92 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Redução térmica} = 97,09 - 23,92 = 73,17 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Poupança} = \frac{73,17 * 0,129907}{0,87} = 10,93 \text{ €/m}^2$$

Conforme apresentado nos cálculos anteriores, com a aplicação do isolamento exterior, considerando 1,0 m<sup>2</sup> de parede, consegue-se uma redução da perda térmica de aproximadamente 73,17 kWh de energia térmica por estação de aquecimento. Este valor traduz uma poupança de aproximadamente 10,93 € com o consumo de gás propano.



O preço atual para aplicação do sistema *ETICS*, segundo as características apresentadas acima, é de aproximadamente 28 € por metro quadro, o que quer dizer que a aplicação do *ETICS* é um investimento com um tempo de retorno de aproximadamente 2,5 anos.

### 5.3. Isolamento Tubos AQS

Para fazer o cálculo das perdas térmicas da tubagem após a aplicação do isolamento recorreu-se ao programa de cálculo “*ISOPIPE - Calculation Program*”, programa este que é disponibilizado de forma gratuita pela *ISOPIPE* e que faz os cálculos das perdas térmicas para cada tipo de isolamento comercializado pela empresa. Na figura 5.1, mostra-se o menu do programa com as configurações referentes às condições registadas no local e ao tipo de isolamento escolhido. Na figura 5.2, está apresentado o gráfico fornecido pelo programa com as perdas térmicas correspondentes a cada espessura de isolamento comercializado pela *ISOPIPE*, de acordo com as características anteriormente selecionadas.

Considerando as poupanças conseguidas com cada tipo de isolamento e o seu respetivo custo de aquisição, o que apresenta a maior poupança financeira a médio prazo é o isolamento com 32 mm de espessura, pelo que a opção recai sobre este isolamento. Conforme se pode analisar no gráfico da figura 5.2, as perdas térmicas com o isolamento de 32 mm é de 20,46 W/m, e o preço de aquisição deste é de 9,93 €/m (SOTECNISOL, 2013).

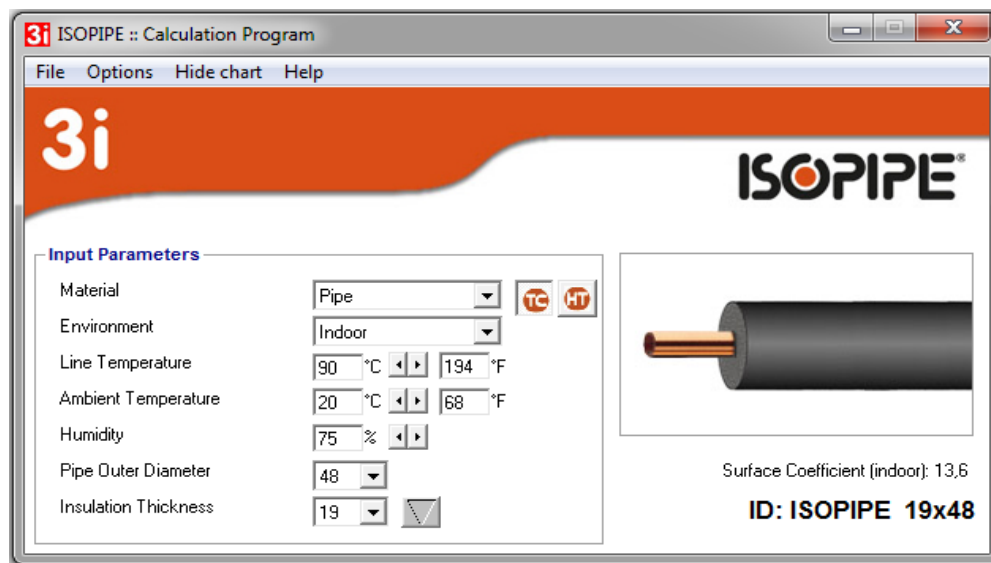


Figura 5.1. Menu *ISOPIPE – Calculation Program* com a configuração dos parâmetros.

Com a aplicação deste isolamento consegue-se uma redução anual nas perdas térmicas na ordem dos 175 kW por cada metro de tubo. Tendo em conta que o preço do gás é de 0,1299066 €/kWh e considerando um rendimento de 0,87 para a conversão de energia, a poupança anual é de aproximadamente 16,2 €/ano, por cada metro de tubo. O que significa que esta medida tem um retorno do investimento ao fim de 8 meses.

Para simplificar as diversas iterações de cálculo, foi considerado apenas as perdas no período em que a escola se encontra em pleno funcionamento, o que dá valores um pouco aquém da

realidade, mas que servem perfeitamente para se ficar com a noção da verdadeira importância da aplicação desta proposta.

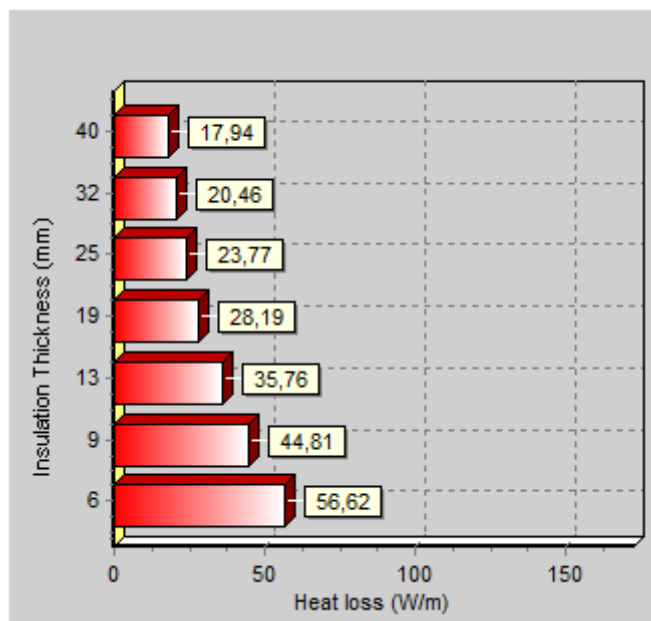


Figura 5.2. Gráfico com perdas térmicas por espessura de isolamento.

## 5.4. Iluminação

Considerando os resultados apresentados na secção 4.11, vai-se proceder à reformulação ou substituição dos atuais sistemas de iluminação de forma a ter uma correta distribuição da iluminação com o mínimo de desperdícios possível e tendo em conta os requisitos da norma EN12464-1.

### 5.4.1. Sala 11

A solução encontrada para o sistema de iluminação instalada no teto da Sala 11 consiste na reformulação da disposição das luminárias e substituição dos atuais balastros magnéticos por balastros eletrónicos dimáveis. O sistema de iluminação será dividido em três conjuntos, tal como mostrado na figura 5.3., de forma a aproveitar da melhor forma a luz exterior. Cada um dos conjuntos será controlado por um sensor de luminosidade que ajustará a luminosidade do respetivo conjunto consoante as necessidades. O sistema de iluminação será no seu todo atuado por um detetor de presença. Na tabela 5.1, estão apresentados os custos associados a esta alteração no sistema de iluminação da Sala 11.

Tabela 5.1. Investimento Sala 11.

Quant.	Descrição	Preço Unit.
11	Balastro eletrónico dimável 1x36.	32,85 €
2	Balastro eletrónico 1x36.	8,75 €
3	Sensor de luminosidade.	23,7 €
1	Detetor de presença	10,0 €
Custo total		459,95 €

No caso da iluminação do quadro, será considerada a substituição dos atuais balastros magnéticos por balastros eletrônicos, de forma a só manter a iluminação do quadro ligada quando necessário.

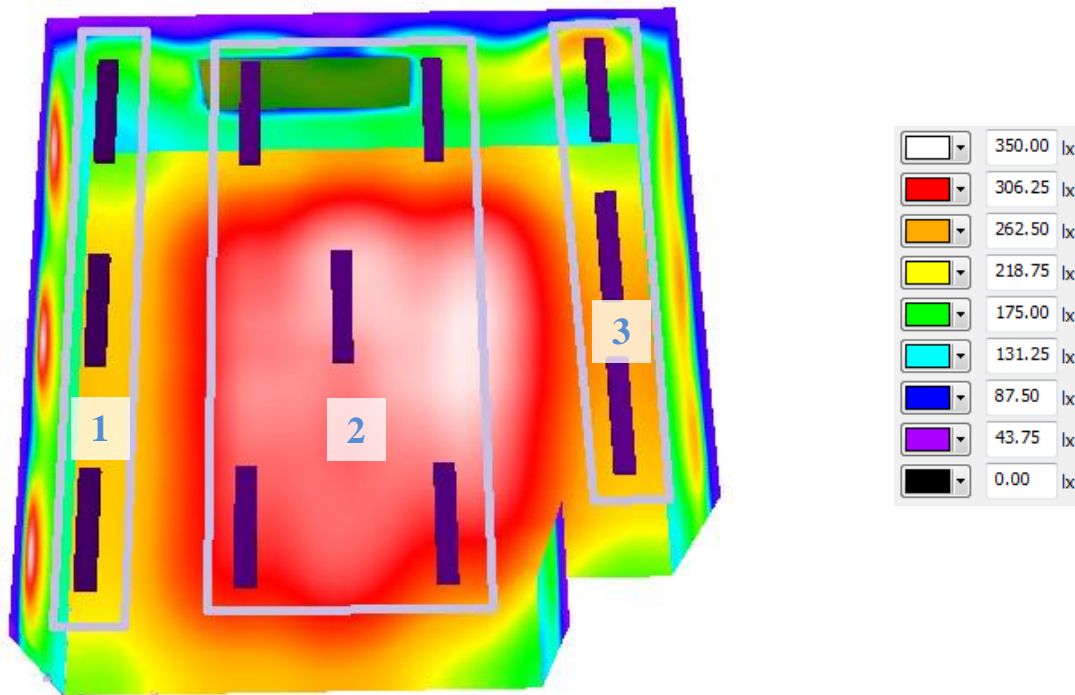


Figura 5.3. Sala 11.

Considerando o horário de aulas verificado na Sala 11 (Anexo IV), e sabendo que a iluminação atual não é desligada durante os intervalos devido ao desgaste provocado pelos balastros magnéticos nas lâmpadas, estas encontram-se acesas para aulas durante cerca de 1050 horas por ano letivo.

Sabendo que a atual iluminação é constituída por 21 lâmpadas de 36 W com balastros eletrônicos, e considerando um preço de 0,13 €/kWh de energia elétrica, valor médio tendo em conta o tarifário em vigor e sabendo que os consumos são verificados durante as horas cheias e horas de ponta. Isto perfaz um custo de aproximadamente 124 € por ano com a iluminação da sala.

Após a reformulação acima mencionada, e sabendo que devido à substituição dos balastros a iluminação estará ligada apenas durante o período de aulas, o custo com iluminação será de aproximadamente 58 € por ano letivo. Isto quer dizer que ao fim de 7 anos o investimento estará amortizado.

Mas tendo em conta que a sala dispõe de boa iluminação natural e como o sistema utilizado tem a capacidade de regular o fluxo das lâmpadas em função do nível de luminosidade, os consumos com energia serão muito inferiores aos acima mencionados, pelo que se pode considerar que as necessidades com iluminação serão inferiores em 50 %. Desta forma é possível constatar que o investimento feito terá um retorno financeiro ao fim de 3,5 anos.

### 5.4.2. Hall

No caso do *Hall*, a solução encontrada consiste em remover o atual sistema de iluminação, que como já se viu anteriormente é muito pouco eficiente e utilizar as luminárias que sobraram da Sala 11, substituindo apenas os balastros magnéticos por balastros eletrônicos dimáveis. Estas serão controladas por um sensor de luminosidade que ajustará a sua luminosidade consoante as necessidades do local e serão atuadas por um detetor de presença. Na tabela 5.2, estão apresentados os custos associados a esta alteração no sistema de iluminação.

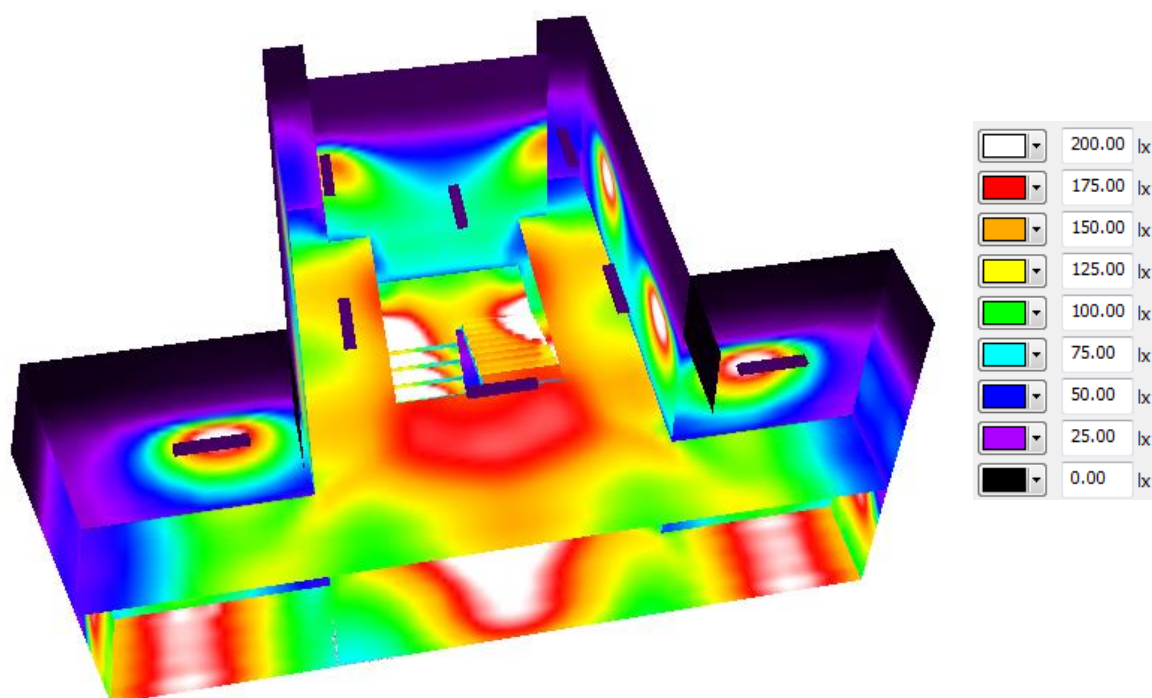


Figura 5.4. *Hall*.

Tabela 5.2. Investimento *Hall*.

Quant.	Descrição	Preço Unit.
6	Balastro eletrónico dimável 1x36.	32,85 €
1	Sensor de luminosidade.	23,7 €
1	Detetor de presença	10,0 €
<b>Custo total</b>		<b>230,8 €</b>

Atualmente, o que acontece é que a iluminação no *Hall* nunca é ligada, sendo a iluminação apenas garantida pela luz natural e por pequenas quantidades de luz refletida das salas, do corredor e do piso de baixo, mas não garantindo durante todo o período do dia a luminosidade mínima estabelecida pela norma EN 12464-1. Desta forma, e tendo em conta o período de utilização da escola, vai-se considerar uma taxa média anual de 2 horas por dia destas luminárias, o que perfaz um custo anual de quase 45 € com energia elétrica.

Após a reformulação do sistema de iluminação, os gastos com energia elétrica caem, aproximadamente, 14 € por mês. Isto quer dizer que ao fim de 8 anos o investimento estaria amortizado.

Mas tendo em conta que o *Hall* durante parte das duas horas médias anteriormente consideradas não se encontra a ser frequentado, uma vez que os alunos estão em aulas, e como este sistema tem a capacidade de desligar autonomamente a iluminação nestes períodos “mortos” sem prejudicar as lâmpadas, fazendo igualmente a regulação do fluxo luminoso das lâmpadas, os consumos com energia serão muito inferiores aos acima mencionados, pelo que se pode considerar que as necessidades com iluminação serão inferiores em 50%. Desta forma é possível constatar que o investimento a fazer terá um retorno financeiro ao fim de 4 anos.

#### 5.4.3. Sala 6

No caso da Sala 6 vai-se substituir o atual sistema de iluminação, e a solução de iluminação proposta baseia-se na família *AEGIRIA* de *downlights* de encastrar do fabricante Português *ApplianceArts*, com tecnologia LED.

Comparativamente às luminárias com lâmpadas LFC, estas destacam-se por possuírem uma eficácia luminosa superior. Para isso contribui a utilização de componentes de elevado rendimento, resultando em sistemas óticos altamente eficientes e eficazes, permitindo a otimização da utilização do fluxo luminoso das luminárias. A este facto, acrescenta-se a diferença da vida útil das luminárias. As melhores lâmpadas LFC duram entre 5.000 e 10.000 horas, enquanto as *AEGIRIA* duram pelo menos 50.000 horas, e podem ser comutadas pelo menos 20.000 vezes.

Todas as *downlights* são endereçáveis individualmente, comunicando com um equipamento terminal de comando via rede elétrica (PLC, *Power Line Communication*), onde todas as suas funcionalidades podem ser programadas, isto é, ligar/desligar, regulação de fluxo, temporizações, ativação/desativação de sensores, entre outras funcionalidades. Todas as *downlights* do fabricante *ApplianceArts* disponibilizam uma garantia de fábrica de 7 anos.



Figura 5.5. *AEGIRIA* 56.

Como a Sala 6 dispõe de envidraçados nas laterais, o sistema de iluminação será dividido em três áreas, conforme ilustrado na figura 5.6, de forma que cada uma das áreas seja regulada por um sensor de luminosidade individual e cada uma das áreas possa estar com fluxos diferentes. Será igualmente considerado a instalação de um sensor de presença para ligar/desligar a iluminação de forma automática. No caso da iluminação dos quadros será considerada a substituição dos balastros magnéticos por balastros eletrônicos de forma a se poder acender a respetiva iluminação apenas quando necessária.

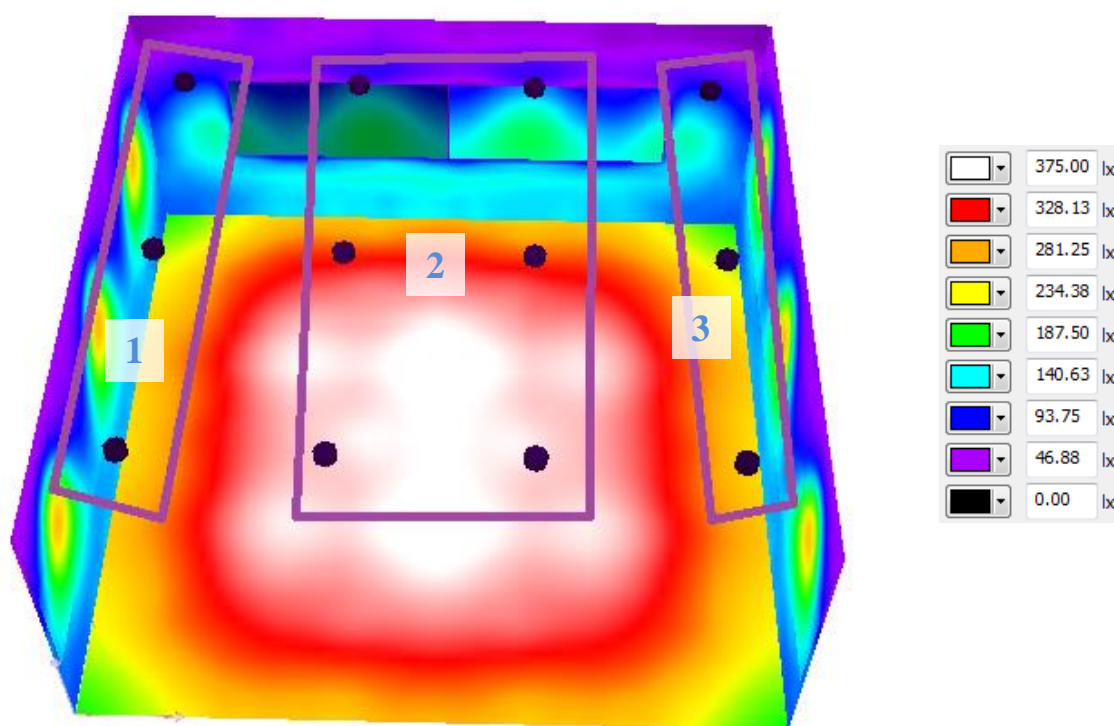


Figura 5.6. Sala 6.

Na tabela 5.3, são apresentados os custos associados a esta alteração no sistema de iluminação.

Tabela 5.3. Investimento Sala 6.

Quant.	Descrição	Preço Unit.
12	<i>AEGIRIA</i>	80,0 €
2	Balastro eletrónico 1x58.	8,75 €
3	Sensor de luminosidade.	23,7 €
1	Detetor de presença	10,0 €
<b>Custo total</b>		<b>1058,6 €</b>

A seguir apresenta-se uma simulação dos custos previsíveis associados à solução proposta e custos da instalação atual, com previsão das amortizações e do período do retorno do investimento. O período em análise é de 15 anos.



Na tabela 5.4, está ilustrada a evolução dos custos associados a cada solução. Os custos considerados são: o custo de colocação ao serviço das luminárias *AEGIRIA* no início do período de análise e respetivos sensores, custo da substituição dos balastros da iluminação do quadro, custo da energia elétrica consumida por ambas as soluções ao longo dos anos considerando um custo de 0,13 €/kWh, uma taxa de evolução do preço da eletricidade de 3% ao ano e o custo de reposição das lâmpadas fluorescentes.

Tabela 5.4. Evolução dos custos Sala 6.

	Início	1º Ano	2º Ano	3º Ano	4º Ano	5º Ano	6º Ano	7º Ano	8º Ano
Atual	65,9	150,6	237,8	327,7	420,2	515,5	613,7	780,7	884,9
LED	1.071,8	1.088,7	1.106,2	1.124,1	1.142,6	1.161,7	1.181,3	1.201,6	1.222,4

	8º Ano	9º Ano	10º Ano	11º Ano	12º Ano	13º Ano	14º Ano	15º Ano
Atual	884,9	992,2	1.102,7	1.216,5	1.333,7	1.454,5	1.644,7	1.772,8
LED	1.222,4	1.243,9	1.266,0	1.288,7	1.312,2	1.336,3	1.361,2	1.386,8

Como se pode verificar pela análise da tabela 5.4, o retorno do investimento é de aproximadamente 12 anos, conseguindo-se um encaixe financeiro de quase 400 € no final dos 15 anos. Estes são sistemas que requerem um grande investimento inicial, o que se reflete no tempo de amortização do mesmo, tendo neste caso a agravante da sala em questão ter uma taxa de utilização reduzida, na ordem das 25 horas semanais. Porém, não se pode esquecer que o atual sistema de iluminação não está a garantir uma homogeneidade nas condições da sala e que não foram considerados custos com a substituição de condensadores e a depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas fluorescentes ao longo das horas de utilização.

### 5.5. Instalação Painéis Solares Térmicos

Devido às grandes necessidades energéticas com o aquecimento das instalações no inverno e com a produção de AQS, a instalação de painéis solares térmicos torna-se uma medida em termos energéticos muito interessante, pois os seus custos residem basicamente no seu investimento inicial e toda a energia térmica produzida é “gratuita”, pois provém da energia solar.

Tendo em conta as características do espaço circundante da escola, o local ideal para a instalação dos painéis é no telhado do edifício central da escola virado para sudeste, uma vez que tem uma boa orientação relativamente à radiação solar, encontra-se numa localização sem obstruções no horizonte e é um espaço que tem pouco aproveitamento para outros fins. A possível localização dos painéis é mostrada na figura 5.7. Atendendo à grande disponibilidade em termos de espaço e de condições para instalação dos painéis, o aconselhado são os painéis de líquido com proteção, pois são os que apresentam a melhor relação custo-benefício.

Uma vez que o maior consumo de energia para climatização e produção de AQS se verifica no período de inverno e atendendo que a orientação dos painéis fica para sudeste, a inclinação

dos painéis deve de ficar compreendida entre os 35° e os 40° de forma a ter uma boa irradiação solar global e que favoreça a produção de energia térmica no inverno.

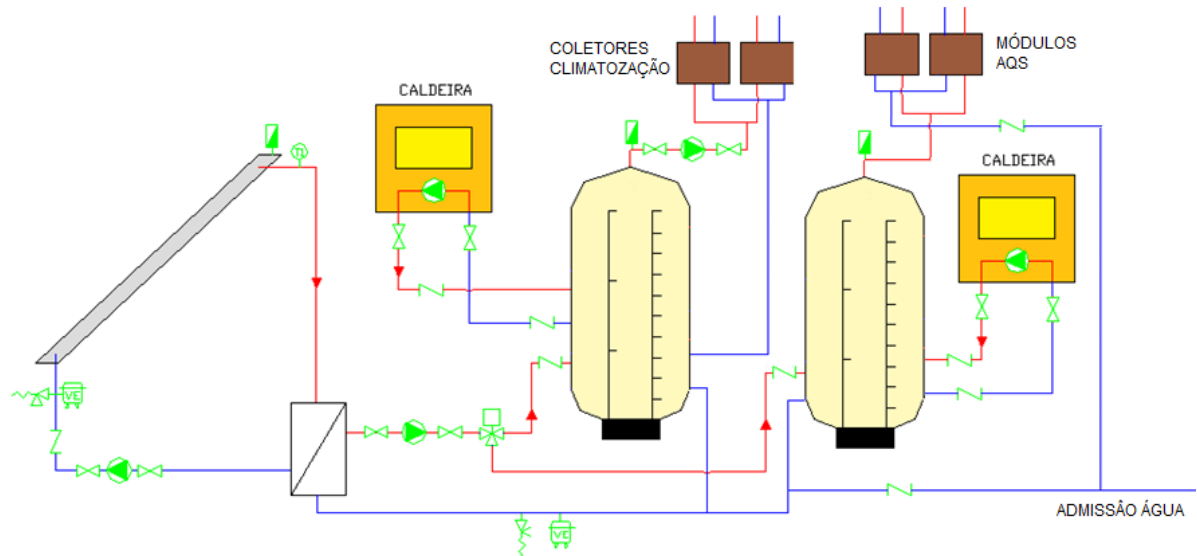
Quanto ao tipo de sistema a instalar, terá que ser por circulação forçada devido à complexidade do sistema e à necessidade de instalação de uma grande potência. Na figura 5.8, mostra-se o esquema da instalação solar para a climatização e AQS.



Figura 5.7. Possível localização dos painéis solares térmicos.

O sistema será dividido em vários circuitos separados. O circuito primário é o que engloba os painéis solares e que tem de ser isolado do restante sistema devido à necessidade de utilização de água com glicol. A permuta de energia térmica do circuito primário, para o secundário será feita através de um permutador de placas. O circuito secundário dispõe de dois depósitos para acumulação de energia térmica, um para a aclimatização e outro para as AQS, os quais têm a respetiva ligação aos módulos de produção de AQS e aos coletores de distribuição pelo sistema de climatização. As atuais caldeiras existentes serão ligadas aos depósitos de forma a auxiliar a produção de energia térmica sempre que os painéis solares não consigam colmatar as necessidades.





	Purgador de ar automático		Termômetro
	Válvula de corte		Válvula motorizada 3 vias
	Válvula de retenção		Válvula motorizada 2 vias
	Bomba de circulação		Caudalímetro
	Vaso de expansão		Permutador placas

Figura 5.8. Esquema da instalação solar para a climatização e AQS.



## 6. CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

O principal objetivo pretendido com este trabalho consistiu na realização de uma Auditoria Energética à Escola EB 2,3/S Pedro Ferreira, no âmbito do Mestrado em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia, na área de especialização de Sistemas de Energia e Automação, ministrado pelo Departamento de Engenharia Eletrotécnica, do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, com intuito de fazer o estudo das condições de utilização de energia nas instalações e na identificação de oportunidades de melhoria do desempenho energético.

Uma Auditoria Energética consiste no levantamento e análise crítica das condições de utilização da energia, com o objetivo de detetar oportunidades de racionalização energética, através de medidas com uma viabilidade técnico-económica aliciante. Na preparação da intervenção, foi estabelecido um plano com as ações a desenvolver e efetuada uma recolha e análise de informação documental, nomeadamente das informações relativas a tecnologias disponíveis no mercado. Para a realização do trabalho foram recolhidos e tratados um vasto conjunto de dados recorrendo a diversos meios, nomeadamente a faturação, equipamentos de medida, inquéritos, pesquisas bibliográficas, entre outro. Foram também realizadas diversas visitas às instalações da escola, durante as quais foi possível efetuar o levantamento dos equipamentos aí utilizados/instalados e as suas respetivas características, detetar algumas anomalias e identificar possíveis oportunidades de racionalização de consumos.

Como forma de detetar eventuais anomalias no sistema elétrico da escola e permitir uma melhor caracterização energética das instalações, foi instalado um analisador de energia no Quadro Geral da escola durante duas semanas. O equipamento instalado permitiu o registo em contínuo (monitorização) dos parâmetros mais relevantes da rede elétrica. Os dados obtidos nesta monitorização foram posteriormente tratados, analisados e os principais resultados apresentados no Capítulo 4 deste trabalho.

Com a análise dos dados do analisador de rede e da faturação de energia elétrica, e respetivas simulações, foi possível verificar que as instalações da escola se encontram, atualmente, na melhor opção tarifária, BTE-Longas - Tetra-Horário, e que o fator de potência e a distorção harmónica se encontram dentro dos requisitos exigidos, não justificando, pela via económica, qualquer tipo de alteração/reformulação ao sistema elétrico.

Com base nos resultados da Auditoria Energética realizada, foram identificadas oportunidades de racionalização de consumos e propostas medidas corretivas para os problemas encontrados, que tornam as instalações mais eficientes, das quais se destacam a reabilitação da envolvente exterior, a aplicação de isolamentos no sistema de aquecimento e AQS, reformulação do sistema de iluminação e aplicação de painéis solares térmicos.

Através da reabilitação eficaz da envolvente exterior do edifício, que se verificou ser de fraca qualidade ao nível do desempenho térmico, com a aplicação de isolamento nas paredes

exteriores e com a substituição dos envidraçados por outros com melhor desempenho térmico, serão conseguidas importantes reduções nos consumos/gastos com o sistema de climatização das instalações da escola.

Com a aplicação de isolamento térmico nas tubagens do sistema de aquecimento e das AQS, que se encontra bastante degradado nuns casos, e sendo mesmo inexistente noutros, serão conseguidas importantes reduções nos consumos/gastos com o sistema de aquecimento e das AQS. De salientar que esta é uma proposta que requer um baixo investimento, tem um retorno de investimento inferior a 8 meses e representa uma considerável poupança energética.

A reformulação ou substituição do atual sistema de iluminação por tecnologias mais recentes, nomeadamente substituição de balastros magnéticos por balastros eletrónicos dimáveis, substituição das atuais luminárias fluorescentes por luminárias LED, aplicação de sensores de luminosidade e de detetores de presença, permitirá atingir poupanças significativas no sistema de iluminação, cumprir a legislação em vigor e obter um maior nível de conforto para os ocupantes do edifício.

A instalação de painéis solares térmicos nas instalações da escola é uma proposta bastante ambiciosa pelo seu elevado custo inicial, mas que devido às grandes necessidades energéticas com o aquecimento das instalações no inverno e para produção de AQS, torna esta medida muito interessante em termos energéticos, e que conseguindo o apoio/financiamento do Estado poderá ser uma medida igualmente interessante a nível económico com a considerável redução da fatura energética.

A implementação das medidas propostas vai permitir a redução dos consumos energéticos e consequentemente conduzir a uma redução das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, indo de encontro com as preocupações ambientais que estão na origem da diversa legislação atualmente em vigor.

Os resultados obtidos neste trabalho poderão ser o ponto de partida para a certificação energética do edifício que, de acordo com o SCE, deverá abranger todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público.

Como trabalhos futuros, propõe-se um estudo pormenorizado da instalação de painéis solares térmicos e painéis fotovoltaicos, atendendo às boas condições verificadas na escola para a instalação destes. Será igualmente importante a realização de um estudo luminotécnico completo do recinto da Escola, que complemente o trabalho desenvolvido neste projeto.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADENE (2013). <http://www.adene.pt/>. Agência para a energia (página internet oficial).
- AEA (2013). <http://www.eea.europa.eu/pt>. Agência Europeia do Ambiente (página internet oficial).
- AEFZ (2013). *Agrupamento de Escolas do Concelho de Ferreira do Zêzere, Regulamento Interno*. Disponível em: <http://www.aefzezere.edu.pt/portal/index.php/agrupamento/documentos/>.
- APA (2013). <http://www.apambiente.pt/index.php>. Agência Portuguesa do Ambiente (página internet oficial).
- APREN (2013). <http://www.apren.pt/>. Associação de energias renováveis (página internet oficial).
- Araújo, L. (2013). *Tipos e Características de lâmpadas – Sistemas de iluminação*. Disponível em: [http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/tipos\\_e\\_caracteristicas\\_de\\_lampadas.pdf](http://www.iar.unicamp.br/lab/luz/ld/L%E2mpadas/tipos_e_caracteristicas_de_lampadas.pdf)
- BCSD (2013). <http://www.bcsdportugal.org/>. BCSD Portugal – Conselho empresarial para o desenvolvimento sustentável (página internet oficial).
- BP (2013). British Petroleum. *BP Statistical Review of World Energy June 2013*.
- Camelo, S., Santos, C., Ramalho, A., Horta, C., Gonçalves, H. e Maldonado, E. (2005). *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios - Manual de apoio à aplicação do RCCTE*. Edição: INETI, Depósito Legal: ISBN; 972- Lisboa.
- CCE. Centro para a Conservação de Energia. *Utilização racional de energia elétrica – Auditorias energéticas na Indústria (vertente elétrica)*.
- Çengel, A. (2008). *Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer*. 2ª Edição. McGraw-Hill Primis. ISBN: 0-390-86122-7.
- Cuttle, C. (2008). *Lighting by Design*. 2ª Edição. Routledge. ISBN: 0-750-68768-1.
- DGE (2002). Direcção Geral de Energia - Ministério da Economia. *Eficiência Energética nos Edifícios*. ISBN:972-8268-25-4, fevereiro 2002.
- DGEG (2012). Direcção Geral de Energia e Geologia. *Balanço Energético Sintético 2012*.
- DGEG (2013). *Energia em Portugal - Principais Números*. Janeiro de 2013.
- DGEG (2014). <http://www.dgeg.pt/>. Direcção Geral de Energia e Geologia (página internet oficial).
- Diogo, A. (2012). *Sistemas Envidraçados com e sem Proteção Solar*. Dissertação de Mestrado em Arquitetura, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.
- Diretiva 2002/91/CE. *Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios*. Jornal Oficial das Comunidades Europeias.
- Diretiva 2010/31/EU. *Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação)*. Jornal Oficial da União Europeia.
- DL RCCTE (2006). *Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios – RCCTE*. Diário da República - I Série - A, Nº 67 - 4 de abril de 2006.
- DL RSECE (2006). *Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios – RSECE*. Diário da República - I Série - A, Nº 67 - 4 de abril de 2006.
- DL SCE (2006). *Decreto-Lei nº 78/2006 de 4 de Abril - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios – SCE*. Diário da República - I Série - A, Nº 67 - 4 de abril de 2006.

- DL SCE (2013). *Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto - Sistema de certificação energética e respetivos regulamentos*. Diário da República, 1.ª série - N.º 159 - 20 de agosto de 2013.
- Doninelli, M. e Marco (2005). *As Instalações Solares - Técnicas e esquemas de realização*. CALEFFI Revista Hidráulica, edição nº 25 de maio de 2005.
- EC/ERA/E-EB (2010). European Commission/European Research Area/Energy-efficient Buildings (EeB) PPP. *Energy-efficient buildings PPP – Multi-annual roadmap and longer term strategy*. ISBN 978-92-79-15228-3, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.
- ECOAP (2013). <http://ecoap.adene.pt/>. Programa de Eficiência Energética na Administração Pública (página internet oficial).
- EDP (2013). <http://www.edpsu.pt/pt/Pages/homepage.aspx>. EDP Serviço Universal (página internet oficial).
- EEA (2013). <http://www.eea.europa.eu/>. European Environment Agency (página internet oficial).
- EN 12464-1 (2011). *Luz e iluminação - Iluminação dos locais de trabalho*.
- EN 12464-1 (2012). ETAP – Excellent Lighting. *Saving Energy, Dossier EN 12464-1*. Descrição resumida da norma, edição 2, junho 2012.
- ERSE (2012). Entidade Reguladora dos Serviços. *Tarifas e preços para a energia elétrica e outros serviços em 2013*.
- ERSE 1 (2013). <http://www.erse.pt/pt/Paginas/home.aspx>. Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (página internet oficial).
- ERSE 2 (2013). Entidade Reguladora dos Serviços. *Simulador de faturação para 2013*. Disponível em <http://simuladores.erse.pt/faturacao>.
- FASSA VARTOLO (2010). *Sistema “CAPOTE” isolamento térmico*. DEP113P, Grafiche Tintoretto.
- Faustino, C. (2012). *Influência dos Vãos Envidraçados no Desempenho Energético de Edifícios, Aplicação ao edifício do DECivil – IST*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa.
- FECM (2011). Fundación de la Energia de la Comunidad de Madrid. *Guía de ahorro y eficiencia energética en centros docentes*. Depósito Legal: M. 9.617-2011, Madrid, 2011.
- Ferreira, J. (2013). *Economia da Energia – A importância da eficiência energética*. Revista Indústria e Ambiente n.º83, Energia e Competitividade - Fornecer, Produzir, Transformar, pp. 11-15. Novembro/Dezembro 2013. ISSN: 1645-1783.
- FOGAS (2014). *Segurança – Propriedades do GPL*. Disponível em <http://www.fogas.com.br/>.
- Gonçalves, H. e Graça, J. (2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*. INETI, depósito legal: 215602/04, ISBN: 972-8268-34-3. Lisboa.
- HCM-TRODONIC (2013). *Catálogo material de iluminação*.
- IEA (2010). International Energy Agency (Agência Internacional de Energia). *Perspetivas em tecnologias energética, cenários e estratégias até 2050*, OECD/IEA, 2010.
- IEA (2013). International Energy Agency (Agência Internacional de Energia). *World Energy Outlook 2013*, OECD/IEA, 2010.
- INE (2013). Instituto Nacional de Estatísticas. *Indicadores Económico-ambientais – Conta das Emissões Atmosféricas 1995-2011*. Outubro de 2013.

- INEa (2013). Instituto Nacional de Estatística. *Dados Estatísticos*. Disponível em [http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine\\_base\\_dados&contexto=bd&selTab=tab2](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_base_dados&contexto=bd&selTab=tab2).
- INE e DGEG (2011). Instituto Nacional de Estatísticas e Direcção Geral de Energia e Geologia. *Inquérito ao Consumo de Energia no Setor Doméstico 2010*. ISSN 2182-0139, Edição 2011, Lisboa - Portugal.
- INETI (2007). INETI, galp energia e edp corporate. *Auditoria energética ao Palácio de Belém, Relatório de Síntese*.
- Isolani, P. (2008). *Eficiência energética nos edifícios residenciais – Manual do Consumidor. EnerBuilding.eu Energy Efficiency*, Edição: Deco, Revisão: Valter Sousa, Lisboa.
- ISOPIPE (2013). 3i International Innovative Industries S.A. *Technical Brochure – ISOPIPE ISOTUBE ISOSOUND*. Disponível em <http://www.isopipe.eu/images/downloads/12engfile.pdf>.
- ITIC (2008). Instituto Técnico para a Indústria da Construção. *O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior dos Edifícios - Oportunidades para o setor da Construção Segmento Residencial*. Março de 2008.
- JCL TOMO 1 (2009). Junta de Castilla y León. *TOMO 1 – Manual de procedimiento para la realización de auditorias energéticas en edificios*. Colaboran: Iberinco, Iberdrola Ingeniería y Consultoría, Impresión: Sorles (León), Depósito legal: LE-357-2009.
- JCL TOMO 2 (2009). Junta de Castilla y León. *TOMO 2 – Manual de procedimiento para la realización de auditorias energéticas en edificios*. Colaboran: Iberinco, Iberdrola Ingeniería y Consultoría, Impresión: Sorles (León), Depósito legal: LE-357-2009.
- LARCLI (2012). *Tabela dos preços e consumos dos diversos tipos de combustíveis*. Disponível em [http://www.larcli.pt/download/Tabela\\_Comp\\_Preco\\_Combustiveis.pdf](http://www.larcli.pt/download/Tabela_Comp_Preco_Combustiveis.pdf).
- LISBOA e-nova (2013). *Legislação nacional referente à Eficiência Energética nos Edifícios*. Agência Municipal de Energia e Ambiente.
- LNEG (2013). <http://www.lneg.pt/>. LNEG – Investigação para a sustentabilidade (página internet oficial).
- Lopes, T. (2005). *Fenómenos de pré-patologia em manutenção de edifícios aplicação ao revestimento ETICS*. Dissertação submetida para a satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Reabilitação do Património Edificado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Louçano, N. (2009). *Eficiência energética em edifícios: Gestão do sistema iluminação*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial Ramo Engenharia Eletrotécnica, IPB.
- Marques, P. (2010). *Estudo de uma Nova Metodologia para Gestão de Energia em Edifícios, Aplicação à Iluminação e Motores Elétricos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, FEUP – Faculdade Engenharia da Universidade de Porto.
- Martins, A. (2009). *Reabilitação Térmica e Energética de Vãos Envidraçados. As atuais exigências regulamentares*. Dissertação de Mestrado em Reabilitação do Património Edificado, FEUP – Faculdade Engenharia da Universidade de Porto.
- Martins, J., Couto, C. e Afonso, J. (2003). *Qualidade de Energia Elétrica*. 3.º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia – CLME'2003, Departamento de Electrónica Industrial, Universidade do Minho, Guimarães.

- Moreno, H. (2001). *Harmónicas nas Instalações Elétricas – Causas, efeitos e soluções*. PROCOBRE. – Instituto Brasileiro do Cobre. São Paulo, SP, Brasil.
- Norcontrol (2013). Equipamentos Eléctricos e Electrónicos. *Factor de Potência – Correção do factor de potência de uma instalação eléctrica*. Disponível em <http://www.norcontrol.pt/cms/view/id/73>.
- NP EN 50160 (2010). *Características da tensão fornecida pelas redes de distribuição pública de energia eléctrica*.
- OSRAM (2013). [http://www.osram.pt/osram\\_pt/index.jsp](http://www.osram.pt/osram_pt/index.jsp). OSRAM (página internet oficial).
- Parque Escola (2009). *Manual de projecto: Instalações técnicas*. Lisboa.
- PCM ENE2020 (2010). *Presidência do Conselho de Ministros, Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, Estratégia Nacional para a Energia 2020*. Diário da República, 1.ª série, N.º 73, 15 de Abril de 2010.
- PE (2004). Portal Energias – energias renováveis. *Energia Solar Térmico – Manual sobre tecnologias, projetos e instalações*. Janeiro de 2004.
- PEE (2013). <http://www.portal-eficienciaenergetica.com.pt/default.html>. Portal da Eficiência Energética (página internet oficial).
- PINHO, P. (1991). *Influência de Vãos Envidraçados no Comportamento Térmico de Edifícios – Estudo para condições climáticas de verão*. Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios, Departamento de Engenharia Civil – Secção de Construções Civas, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Portaria n.º 461/2007. *Calendarização da aplicação do Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior*. Diário da República – 2ªSérie - N.º 108 - 5 de junho de 2007.
- PST (2013). <http://www.painelsolartermico.com/>. Painel Solar Térmico (página internet oficial).
- RCM ECO.AP (2011). *Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/2011 - Programa de Eficiência Energética na Administração Pública*. Diário da República, 1.ª série - N.º 8 - 12 de janeiro de 2011.
- RCM PNAEE (2008). *Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008 - Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética*. Diário da República, 1.ª série - N.º 97 - 20 de maio de 2008.
- Rebelo, A. (2009). *Optimização e dimensionamento de vãos envidraçados*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro.
- Santos, C. e Matias, L. (2006). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, ICT Informação Técnica, Edifícios – ITE 50.
- Santos, M. (2010). *Reabilitação Energética de um Edifício Escolar*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho.
- Silva, N. (2011). *Análise da viabilidade de mudança dos sistemas de iluminação de um estabelecimento de ensino superior para outros mais eficientes*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, FCTUC.
- Skvarenina, T. (2002). *The Power Electronics Handbook – Industrial Electronics Series*. CRC Press LLC, London, New York, Washington DC, ISBN 0-8493-7336-0.
- Soares, J. (2011). *Arquitectura e Luz, Estratégias de Iluminação – Teatro Capitólio*. Dissertação de Mestrado em Arquitectura: Especialização em Arquitectura de Interiores, Faculdade de Arquitectura – Universidade Técnica de Lisboa.



- SONUR (2014). <http://www.sonur.pt/>. SONUR Soluções Técnicas (página internet oficial).
- SOTECNISOL (2013). *Tabela preços de venda - isolamentos de tubagens*. Disponível em [http://www.sotecnisol.pt/resources/tabelas\\_de\\_preco/isolamento\\_de\\_tubagens\\_-\\_isopipe.pdf](http://www.sotecnisol.pt/resources/tabelas_de_preco/isolamento_de_tubagens_-_isopipe.pdf).
- Sousa, R. (2011). *Estudo da Eficiência Energética e Gestão de Energia em Edifícios Escolares*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, FEUP – Faculdade Engenharia da Universidade de Porto.
- Teixeira, S. (2009). *Energia Solar - Conversão Térmica*. CENFIM, FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Tomás, N. (2009). *Integração de Energias Renováveis em Edifícios, Estudo de Caso – Integração num Edifício de Serviços*. Dissertação de Mestrado em Instalações e Equipamentos em Edifícios, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.
- TRIDONIC (2013). <http://www.tridonic.com/com/en/index.asp>. TRIDONIC – Enlightening your ideas (página internet oficial).
- VIERO (2012). *CAPPOTTO – Soluções de isolamento térmico pelo exterior*. Disponível em [http://www.viero.com.pt/pub/cappoto\\_viero\\_2010\\_sem\\_portfolio\\_aplicacoes\\_AF.pdf](http://www.viero.com.pt/pub/cappoto_viero_2010_sem_portfolio_aplicacoes_AF.pdf).
- Vilão, R., Venâncio, C., Gervásio, I., Silva, J., Liberal, P. e Ribeiro, R. (2012). *Relatório do Estado do Ambiente 2012 – REA 2012 Portugal*. Agência Portuguesa do Ambiente, I.P., Depósito Legal: 138 314/99.
- WBC e BCSD. World Business Council for Sustainable Development e BCSD Portugal – Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável. *Fatos e Tendências – Relatório Síntese (Eficiência Energética em Edifícios – Realidades empresariais e oportunidades)*.
- WEBER (2012). *Manual técnico – Sistema weber.therm isolamento térmico de fachadas*. Disponível em: <http://www.decorvisao.pt/pdf/weber.pdf>.
- WEG Automação (2009). *Manual para Correção do Fator de Potência*. São Paulo, Brasil.
- ZEMBE (2013). *Tabela de preços OSRAM*, Disponível em [www.electrorayd.com/pdfs/Tabelas/2013/](http://www.electrorayd.com/pdfs/Tabelas/2013/).



# ANEXO I

## Tabelas e Dados Técnicos

- Tabela com valores para a iluminação nas escolas, norma EN 12464-1 (EN 12464-1, 2011);
- Distribuição dos concelhos de Portugal continental segundo as zonas climáticas e correspondentes dados climáticos de referência, Decreto-Lei n.º 80/2006 – RCCTE (DL RCCTE, 2006);
- Resistências térmicas superficiais, Decreto-Lei n.º 80/2006 – RCCTE (DL RCCTE, 2006);
- Coeficiente de transmissão térmica vãos envidraçados verticais caixilharia metálica sem corte térmico, LNEC (Santos, C. e Matias, L., 2006);
- Coeficiente de transmissão térmica vãos envidraçados verticais caixilharia metálica com corte térmico, LNEC (Santos, C. e Matias, L., 2006);
- Coeficiente de transmissão térmica vãos envidraçados verticais caixilharia de plástico, LNEC (Santos, C. e Matias, L., 2006);
- Envolvente Opaca - Coeficientes de transmissão térmica superficial - valores máximos admissíveis, INETI (Camelo, S., Santos, C., Ramalho, A., Horta, C., Gonçalves, H. e Maldonado, E., 2005);
- Resistência térmica paredes simples de alvenaria, LNEC (Santos, C. e Matias, L., 2006);
- Eficiência de conversão para os sistemas convencionais de produção de águas quentes, INETI (Camelo, S., Santos, C., Ramalho, A., Horta, C., Gonçalves, H. e Maldonado, E., 2005);
- Condutibilidades térmicas de isolantes térmicos, LNEC (Santos, C. e Matias, L., 2006);
- Propriedades do ar à pressão de 1 atm (Çengel, A., 2008);
- Emissividade superficial dos metais (Çengel, A., 2008).

Table 5.36 — Educational premises – Educational buildings

Ref. no.	Type of area, task or activity	$E_m$ lx	$UGR_L$ —	$U_o$ —	$R_s$ —	Specific requirements
5.36.1	Classrooms, tutorial rooms	300	19	0,60	80	Lighting should be controllable.
5.36.2	Classroom for evening classes and adults education	500	19	0,60	80	Lighting should be controllable.
5.36.3	Auditorium, lecture halls	500	19	0,60	80	Lighting should be controllable to accommodate various A/V needs.
5.36.4	Black, green and white boards	500	19	0,70	80	Specular reflections shall be prevented.  Presenter/teacher shall be illuminated with suitable vertical illuminance.
5.36.5	Demonstration table	500	19	0,70	80	In lecture halls 750 lx.
5.36.6	Art rooms	500	19	0,60	80	
5.36.7	Art rooms in art schools	750	19	0,70	90	5 000 K < $T_{cP}$ 6 500 K.
5.36.8	Technical drawing rooms	750	16	0,70	80	
5.36.9	Practical rooms and laboratories	500	19	0,60	80	
5.36.10	Handicraft rooms	500	19	0,60	80	
5.36.11	Teaching workshop	500	19	0,60	80	
5.36.12	Music practice rooms	300	19	0,60	80	
5.36.13	Computer practice rooms (menu driven)	300	19	0,60	80	DSE-work, see 4.9.
5.36.13	Computer practice rooms (menu driven)	300	19	0,60	80	DSE-work, see 4.9.
5.36.14	Language laboratory	300	19	0,60	80	
5.36.15	Preparation rooms and workshops	500	22	0,60	80	
5.36.16	Entrance halls	200	22	0,40	80	
5.36.17	Circulation areas, corridors	100	25	0,40	80	
5.36.18	Stairs	150	25	0,40	80	
5.36.19	Student common rooms and assembly halls	200	22	0,40	80	
5.36.20	Teachers rooms	300	19	0,60	80	

Ref. no.	Type of area, task or activity	$E_m$ lx	$U_{GR_L}$ —	$U_o$ —	$R_a$ —	Specific requirements
5.36.21	Library: bookshelves	200	19	0,60	80	
5.36.22	Library: reading areas	500	19	0,60	80	
5.36.23	Stock rooms for teaching materials	100	25	0,40	80	
5.36.24	Sports halls, gymnasiums, swimming pools	300	22	0,60	80	See EN 12193 for training conditions.
5.36.25	School canteens	200	22	0,40	80	
5.36.26	Kitchen	500	22	0,60	80	

**Distribuição dos concelhos de Portugal continental segundo as zonas climáticas e correspondentes dados climáticos de referência**

Concelho	Zona climática de Inverno	Número de graus-dias (GD) (°C.dias)	Duração da estação de aquecimento (meses)	Zona climática de Verão	Temperatura externa do projecto (°C)	Amplitude térmica (°C)
Felgueiras .....	I <sub>2</sub>	1 870	7	V <sub>2</sub>	33	13
Ferreira do Alentejo .....	I <sub>1</sub>	1 220	5,7	V <sub>3</sub>	36	17
Ferreira do Zêzere .....	I <sub>2</sub>	1 780	6	V <sub>3</sub>	34	15
Figueira da Foz .....	I <sub>1</sub>	1 450	6,3	V <sub>1</sub>	30	10
Figueira de Castelo Rodrigo..	I <sub>3</sub>	2 450	8	V <sub>2</sub>	33	16

**Resistências térmicas superficiais**

Sentido do fluxo de calor	Resistência térmica superficial (m² . °C/W)		
	Exterior — $R_{se}$	Local não aquecido (*) $R_{sn}$	Interior — $R_{si}$
Horizontal (**)	0,04	0,13	0,13
Vertical (***):			
Ascendente .....	0,04	0,10	0,10
Descendente .....	0,04	0,17	0,17

(\*) Os valores indicados traduzem o facto de, no caso do cálculo do coeficiente de transmissão térmica de um elemento que separa um local não aquecido de um local aquecido, se adoptar  $R_{se} = R_{si}$ .

(\*\*) Aplicável a paredes (até mais ou menos 30° com a vertical).

(\*\*\*) Aplicável a coberturas e pavimentos

# COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA

## VÃOS ENVIDRAÇADOS VERTICAIS

### CAIXILHARIA METÁLICA

#### A – SEM CORTE TÉRMICO

$U$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]	$U_{wdn}^{(2)}$ [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]		
					Dispositivo de oclusão noturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
						Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa	—	6,0	4,9	4,5	3,8
		giratória	—	6,2	5,0	4,6	3,9
		de correr	—	6,5	5,2	4,8	4,1
	2 (vidro duplo)	fixa	6	3,9	3,4	3,2	2,8
			16	3,5	3,1	2,9	2,6
			16 low $\epsilon^{(3)}$	3,1	2,8	2,6	2,3
		giratória	6	4,3	3,7	3,4	3,0
			16	3,8	3,3	3,1	2,7
			16 low $\epsilon^{(3)}$	3,6	3,2	3,0	2,6
		de correr	6	4,5	3,9	3,6	3,1
			16	4,0	3,5	3,3	2,9
			16 low $\epsilon^{(3)}$	3,7	3,3	3,1	2,7
Duplo <sup>(4)</sup> (2 janelas)	1 (vidro simples) em cada janela	fixa, giratória ou de correr	50 a 100 mm (distância entre janelas)	3,1	2,8	2,6	2,3

#### NOTAS:

- 1 -  $U_w$ , coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, aplicável a locais sem ocupação noturna (vd. texto 4.5).
- 2 -  $U_{wdn}$ , coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado (inclui a contribuição dos eventuais dispositivos de oclusão noturna), aplicável a locais com ocupação noturna (vd. texto 4.5). Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de oclusão noturna,  $U_{wdn} = U_w$ .
- 3 - Para os vidros com baixa emissividade (low  $\epsilon$ ) considera-se uma emitância  $\epsilon = 0,40$ . Para outros valores de  $\epsilon$  vd. texto 4.5.
- 4 - Nas janelas duplas admite-se que ambas as janelas têm o mesmo tipo de vidro simples e de caixilho de madeira. Para outras combinações de janelas vd. texto 4.5.

# COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA

## VÃOS ENVIDRAÇADOS VERTICAIS

### CAIXILHARIA METÁLICA

#### B – COM CORTE TÉRMICO

$U$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar [mm]	$U_w^{(1)}$ [W/(m <sup>2</sup> · °C)]	$U_{wdn}^{(2)}$ [W/(m <sup>2</sup> · °C)]		
					Dispositivo de oclusão nocturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa						
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	fixa, giratória ou de correr	—	5,4	4,5	4,1	3,6
	2 (vidro duplo)		6	3,7	3,3	3,1	2,7
			16	3,3	2,9	2,8	2,5
			16 low $\epsilon$ <sup>(3)</sup>	3,0	2,7	2,6	2,3

#### NOTAS:

- 1 -  $U_w$ , coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, aplicável a locais sem ocupação noturna (vd. texto 4.5).
- 2 -  $U_{wdn}$ , coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado (inclui a contribuição dos eventuais dispositivos de oclusão noturna), aplicável a locais com ocupação noturna (vd. texto 4.5). Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de oclusão noturna,  $U_{wdn} = U_w$ .
- 3 - Para os vidros com baixa emissividade (low  $\epsilon$ ) considera-se uma emitância  $\epsilon = 0,40$ . Para outros valores de  $\epsilon$  vd. texto 4.5.

**COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO TÉRMICA**  
**VÃOS ENVIDRAÇADOS VERTICAIS**  
**CAIXILHARIA DE PLÁSTICO**  
 **$U$  [ $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ]**

Tipo de vão envidraçado	Número de vidros	Tipo de janela	Esp. da lâmina de ar  [mm]	$U_w^{(1)}$  [W/(m². °C)]	$U_{wdn}^{(2)}$  [W/(m². °C)]		
					Dispositivo de oclusão nocturna		
					Cortina interior opaca	Outros dispositivos	
Com permeabilidade ao ar elevada	Com permeabilidade ao ar baixa						
Simples (1 janela)	1 (vidro simples)	Fixa, giratória ou de correr	—	4,9	4,1	3,8	3,3
	2 (vidro duplo)		6	3,2	2,9	2,7	2,4
			16	2,7	2,5	2,3	2,1
			16 low $\epsilon$ <sup>(3)</sup>	2,5	2,3	2,2	2,0
Duplo <sup>(4)</sup> (2 janelas)	1 (vidro simples em cada janela)		50 a 100 mm (distância entre janelas)	2,4	2,2	2,1	1,9

**NOTAS:**

- 1 -  $U_w$ , coeficiente de transmissão térmica do vão envidraçado, aplicável a locais sem ocupação nocturna (vd. texto 4.5).
- 2 -  $U_{wdn}$ , coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite do vão envidraçado (inclui a contribuição dos eventuais dispositivos de oclusão nocturna), aplicável a locais com ocupação nocturna (vd. texto 4.5). Se o vão envidraçado não dispõe de dispositivos de oclusão nocturna,  $U_{wdn} = U_w$ .
- 3 - Para os vidros com baixa emissividade (low  $\epsilon$ ) considera-se uma emitância  $\epsilon = 0,40$ . Para outros valores de  $\epsilon$  vd. texto 4.5.
- 4 - Nas janelas duplas admite-se que ambas as janelas têm o mesmo tipo de vidro simples e de caixilho de madeira. Para outras combinações de janelas vd. texto 4.5.

**Envolvente Opaca** - Coeficientes de transmissão térmica superficial  
- valores máximos admissíveis -  $U$  ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ).

Envolvente Opaca Zona Corrente		Zona Climática de Inverno $U$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )		
		I1	I2	I3
Exterior	paredes	1,80	1,60	1,45
	cobertura e pavimentos	1,25	1,00	0,90
Interior	paredes	2,00	2,00	1,90
	cobertura e pavimentos	1,65	1,30	1,20



**RESISTÊNCIAS TÉRMICAS**  
**PAREDES SIMPLES DE ALVENARIA**  
 $R [(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$

Tipo de elemento		Espessura da alvenaria [m]								
		0,03	0,04	0,07	0,09	0,10 0,11	0,15	0,19 0,20 0,22	0,24 0,25	0,30
tijolos de cerâmicos	furado (normal)	0,07	0,10	0,19	0,23	0,27	0,39	0,52	0,56	—
	maciço	—	—	0,08	—	0,13	—	—	—	—
blocos de betão	normal	—	—	—	—	0,16	0,20	0,30	0,33	0,37
	leve	—	—	—	—	0,27	0,31	0,49	0,54	0,59

Eficiência de conversão para os sistemas convencionais de produção de águas quentes – valores por defeito.

Sistemas Convencionais de Produção de Águas Quentes Sanitárias		Eficiência de conversão $\eta_a$
Termoacumulador eléctrico	com pelo menos 100 mm de isolamento térmico	0,95
	com 50 a 100 mm de isolamento térmico	0,90
	com menos de 50 mm de isolamento térmico	0,80
Termoacumulador a gás	com pelo menos 100 mm de isolamento térmico	0,80
	com 50 a 100 mm de isolamento térmico	0,75
	com menos de 50 mm de isolamento térmico	0,70
Caldeira mural com acumulação	com pelo menos 100 mm de isolamento térmico	0,87
	com 50 a 100 mm de isolamento térmico	0,82
	com menos de 50 mm de isolamento térmico	0,65
Esquentador a gás		0,50

**CONDUTIBILIDADES TÉRMICAS**  
**ISOLANTES TÉRMICOS**

Material	Massa volúmica aparente seca, $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Condutibilidade térmica, valor de cálculo, $\lambda$ [W/(m. °C)]
<b>ISOLANTES TÉRMICOS</b>		
<i>poliestireno expandido moldado (EPS)</i>	< 11	0,055
	11 – 13	0,045
	13 – 15	0,042
	15 – 20	0,040
	> 20	0,037
<i>poliestireno expandido extrudido (XPS)</i>	25 – 40	0,037

Properties of air at 1 atm pressure

Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Density $\rho, \text{kg/m}^3$	Specific Heat $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Thermal Conductivity $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Thermal Diffusivity $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Dynamic Viscosity $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Kinematic Viscosity $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Prandtl Number Pr
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-5}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-5}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-5}$	$2.264 \times 10^{-5}$	$2.522 \times 10^{-5}$	0.7073

Emissivities of surfaces

(a) Metals

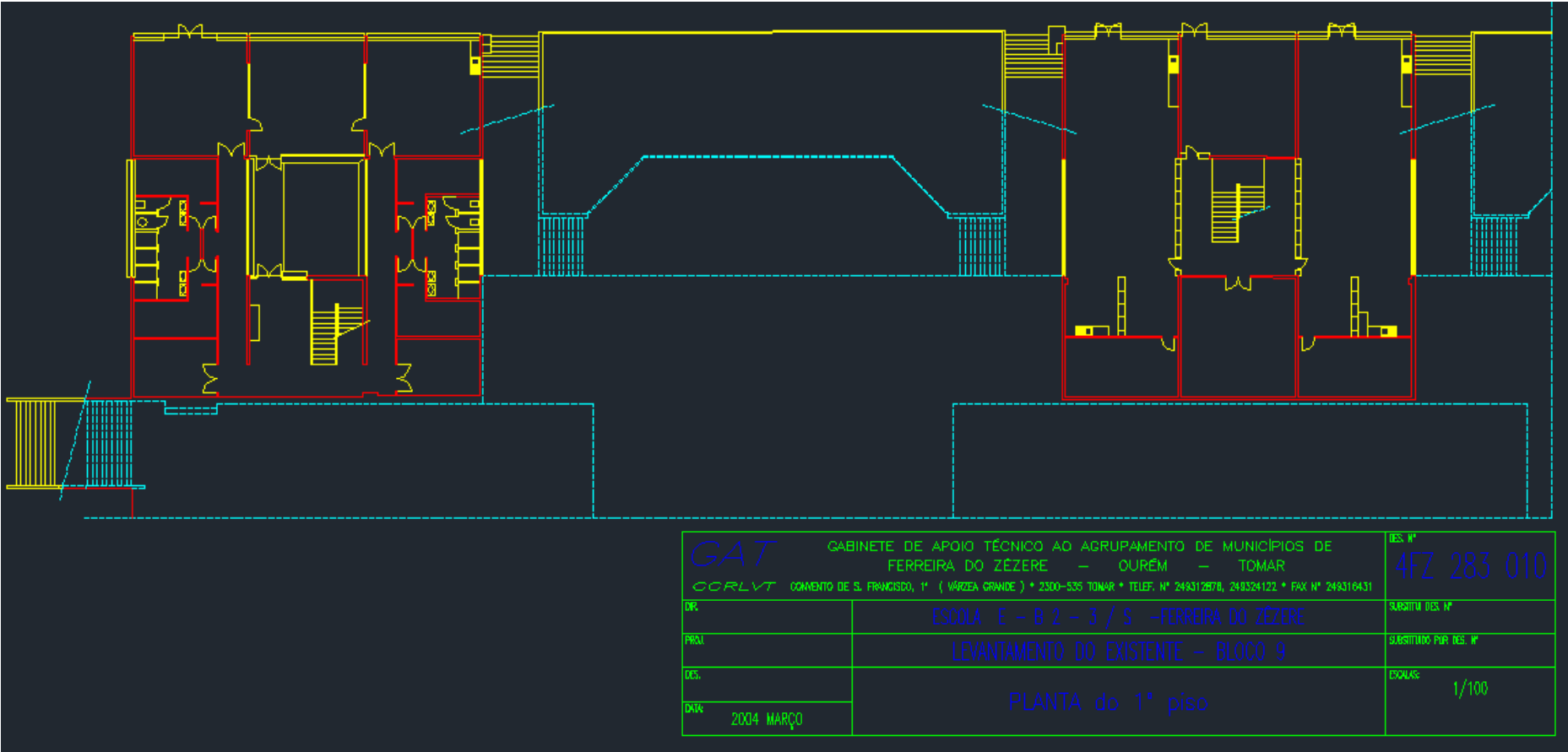
Material	Temperature, K	Emissivity, $\varepsilon$	Material	Temperature, K	Emissivity, $\varepsilon$
Aluminum			Magnesium, polished	300–500	0.07–0.13
Polished	300–900	0.04–0.06	Mercury	300–400	0.09–0.12
Commercial sheet	400	0.09	Nickel		
Heavily oxidized	400–800	0.20–0.33	Polished	500–1200	0.07–0.17
Anodized	300	0.8	Oxidized	450–1000	0.37–0.57
Brass			Platinum, polished	500–1500	0.06–0.18
Highly polished	500–650	0.03–0.04	Silver, polished	300–1000	0.02–0.07
Polished	350	0.09	Stainless steel		
Dull plate	300–600	0.22	Polished	300–1000	0.17–0.30
Oxidized	450–800	0.6	Lightly oxidized	600–1000	0.30–0.40
Copper			Highly oxidized	600–1000	0.70–0.80
Highly polished	300	0.02	Steel		
Polished	300–500	0.04–0.05	Polished sheet	300–500	0.08–0.14
Commercial sheet	300	0.15	Commercial sheet	500–1200	0.20–0.32
Oxidized	600–1000	0.5–0.8	Heavily oxidized	300	0.81
Black oxidized	300	0.78	Tin, polished	300	0.05
Iron			Tungsten		
Highly polished	300–500	0.05–0.07	Polished	300–2500	0.03–0.29
Case iron	300	0.44	Filament	3500	0.39
Wrought iron	300–500	0.28	Zinc		
Rusted	300	0.61	Polished	300–800	0.02–0.05
Oxidized	500–900	0.64–0.78	Oxidized	300	0.25

## **ANEXO II**

### **Plantas da Escola**

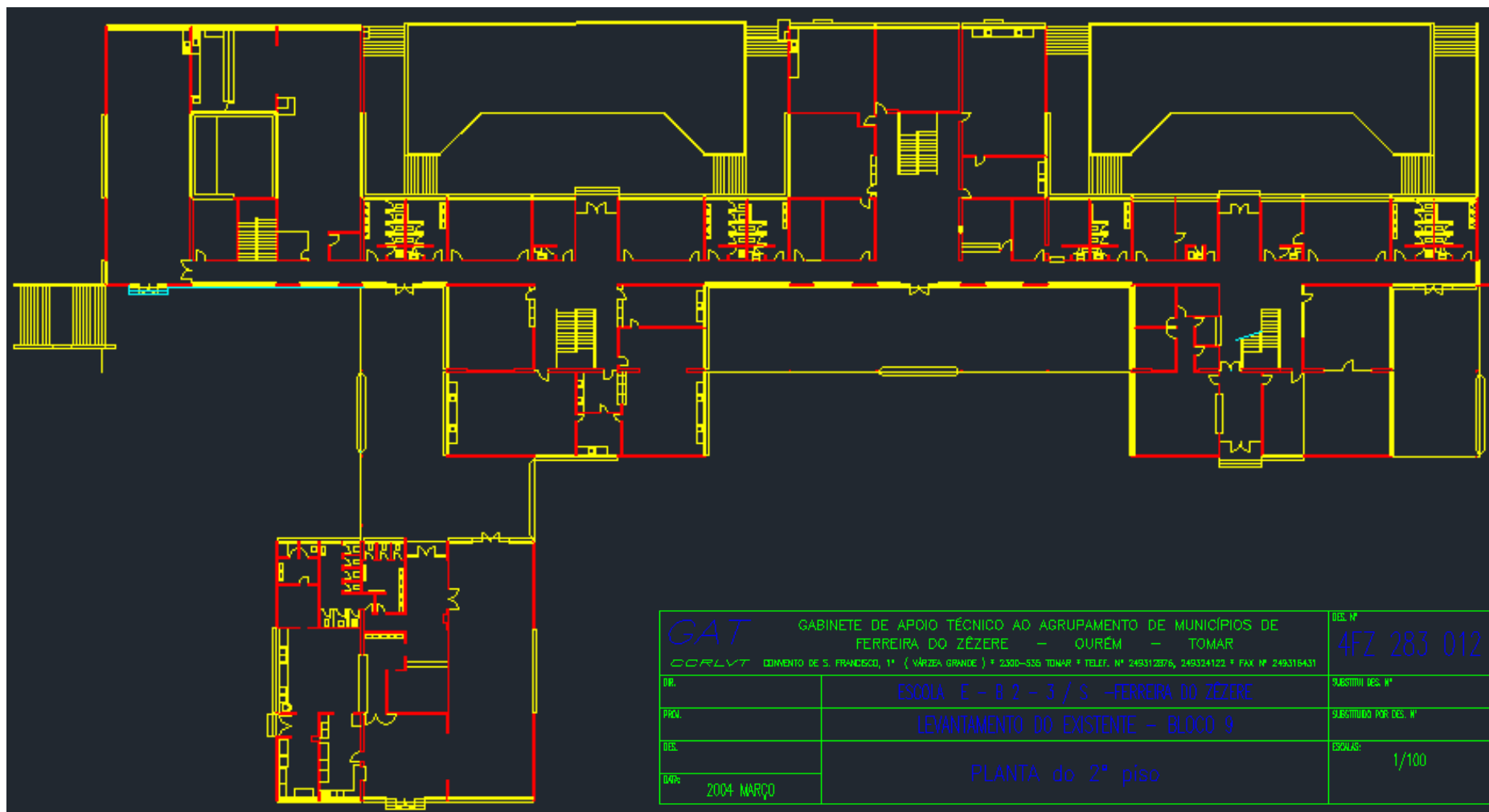
- Planta do 1ºAndar;
- Planta do 2ºAndar;
- Planta do 3º Andar;
- Planta dos Blocos 1 e 7 - Entradas;
- Planta do Bloco 8 – Sala do Aluno;
- Planta dos Blocos 11, 12 e 13;
- Planta do Bloco 3 – Balneários;
- Planta dos Blocos 5 e 6 – Pavilhão.

Planta do 1ºAndar

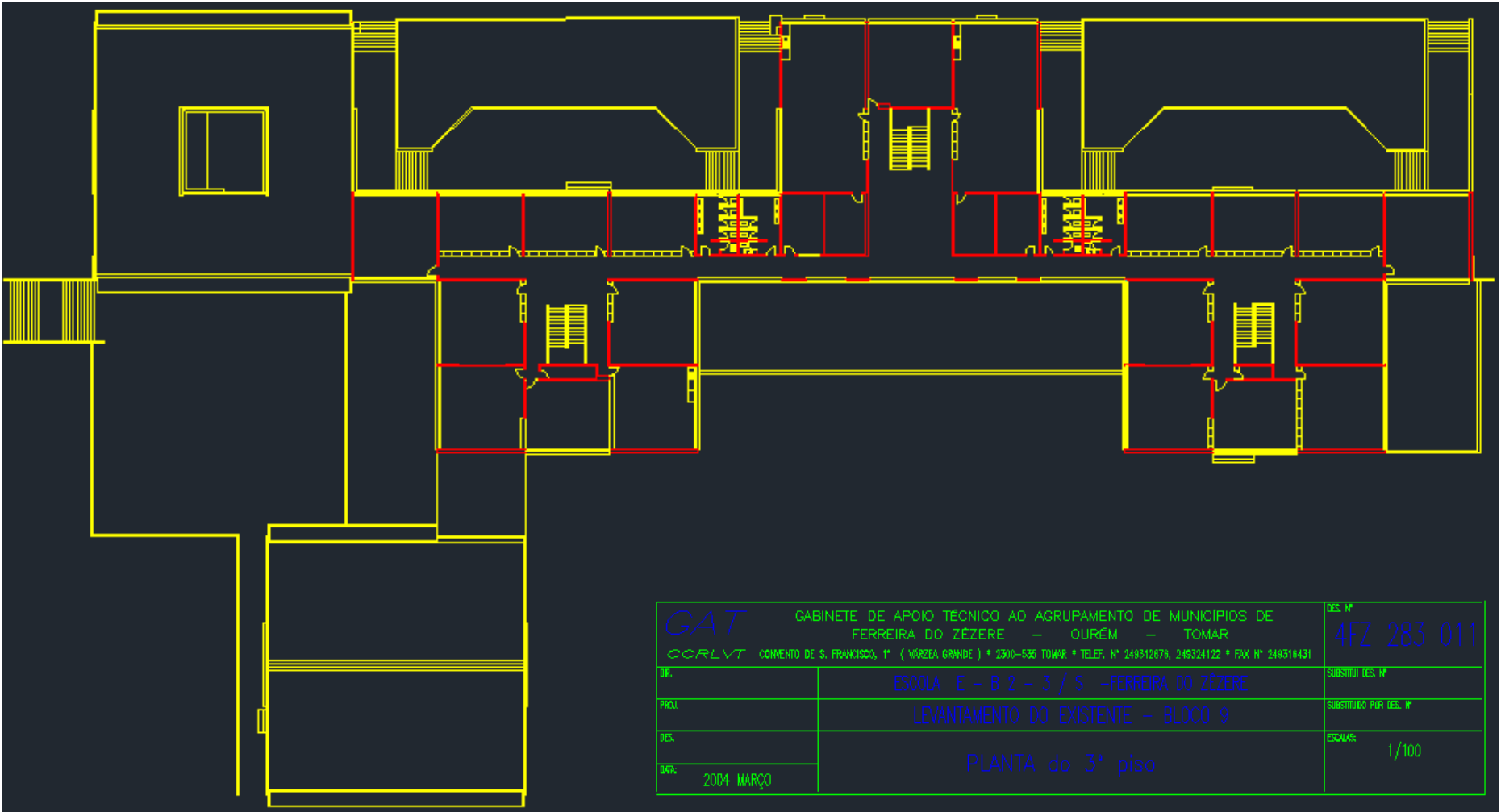


GAT GABINETE DE APOIO TÉCNICO AO AGRUPAMENTO DE MUNICÍPIOS DE FERREIRA DO ZÉZERE – OURÉM – TOMAR		DES. Nº
CORLVT CONVENTO DE S. FRANCISCO, 1º ( VÁRZEA GRANDE ) • 2300-535 TOMAR • TELEF. Nº 249312878, 249324122 • FAX Nº 249316431		4FZ 283 010
DEL.	ESCOLA E – B 2 – 3 / S – FERREIRA DO ZÉZERE	SUBSTITUI DES. Nº
PROJ.	LEVANTAMENTO DO EXISTENTE – BLOCO 9	SUBSTITUÍDO POR DES. Nº
DES.	PLANTA do 1º piso	ESCALAS:
DATA 2004 MARÇO		1/100

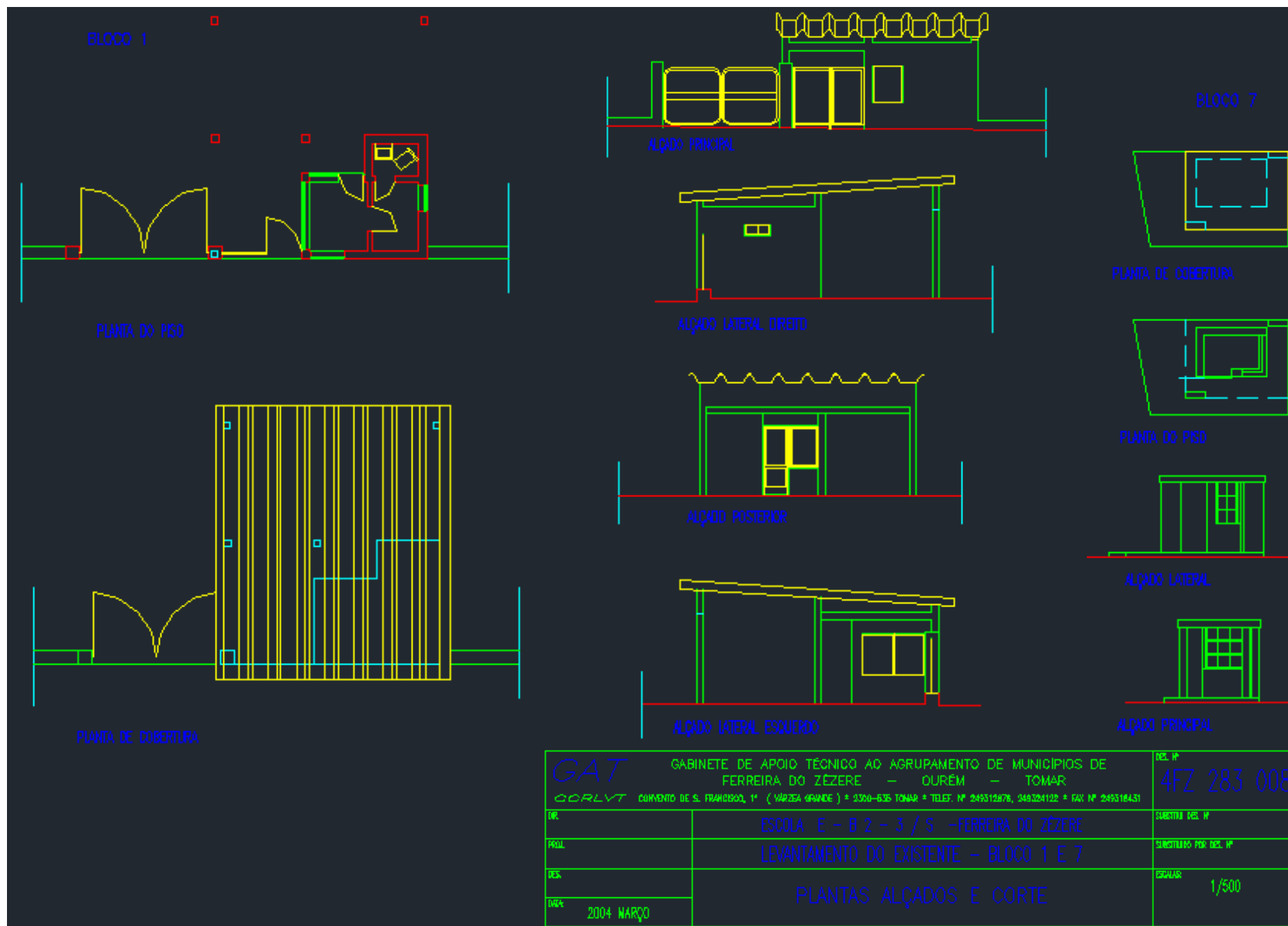
## Planta do 2º Andar;



Planta do 3ºAndar;

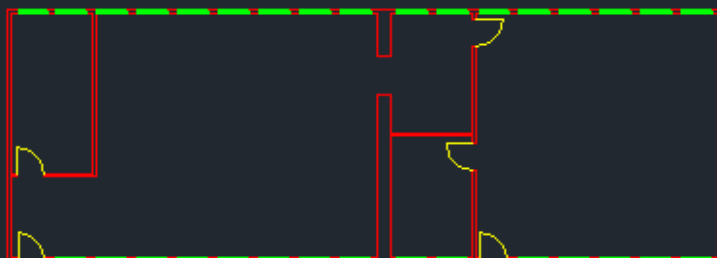


## Planta dos Blocos 1 e 7 - Entradas

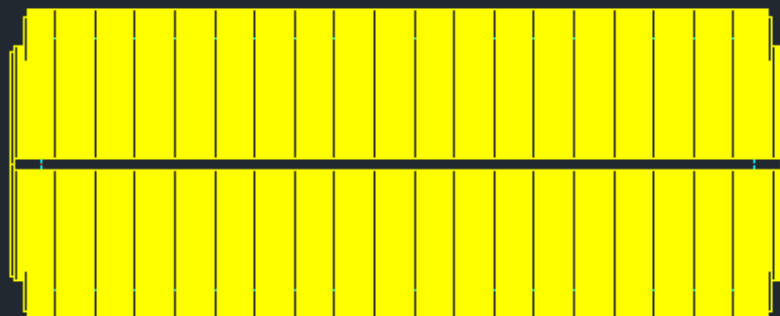


## Planta do Bloco 8 – Sala do Aluno

PLANTA DO PISO



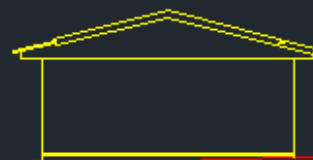
PLANTA DE COBERTURA



ALÇADO FRONTAL



ALÇADO POSTERIOR

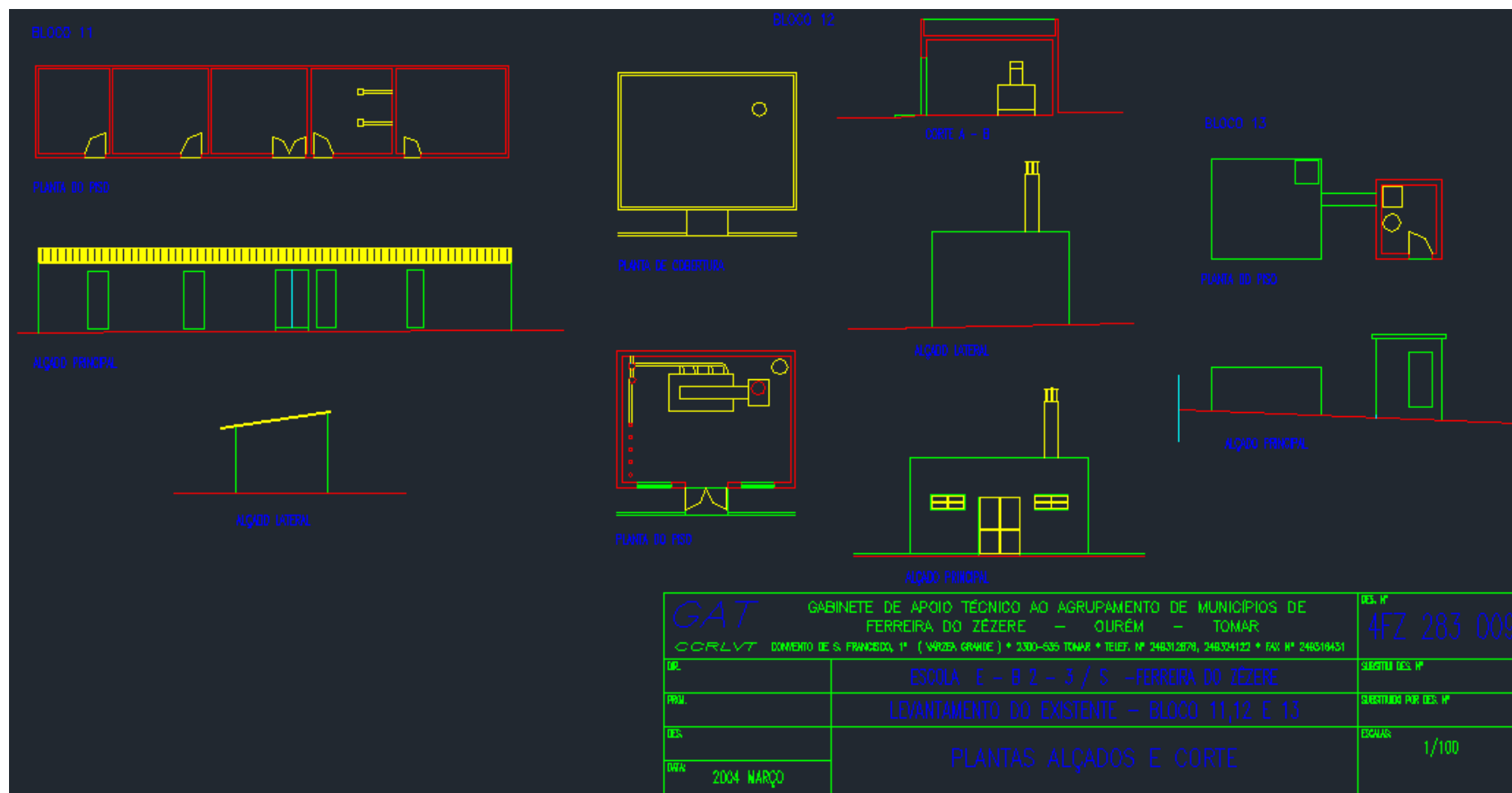


ALÇADO LATERAL

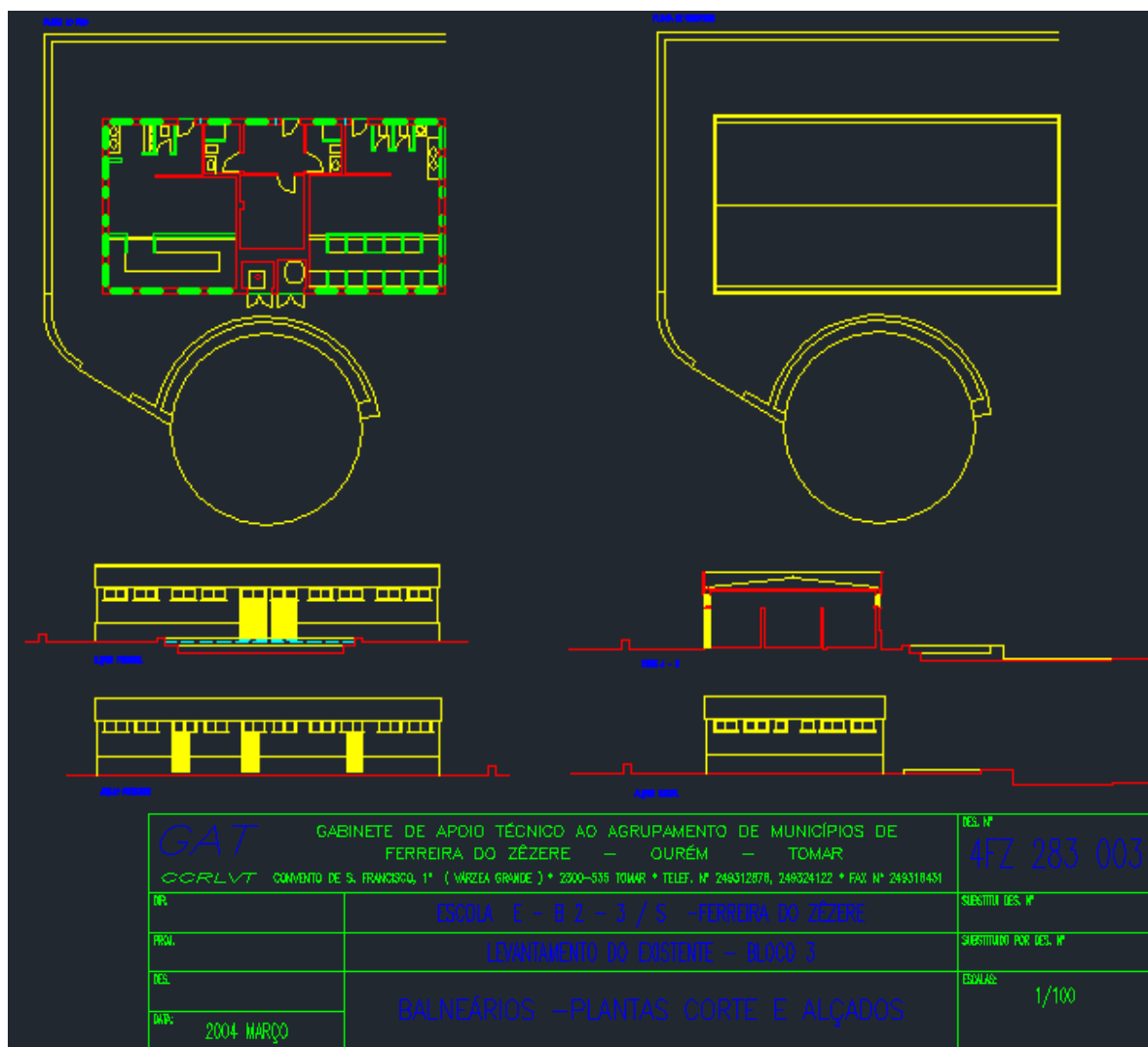
<b>GAT</b> GABINETE DE APOIO TÉCNICO AO AGRUPAMENTO DE MUNICÍPIOS DE FERREIRA DO ZÉZERE – OURÉM – TOMAR CCRLVT CONVENTO DE S. FRANCISCO, 1.º ( Várzea Grande ) * 2300-535 TOMAR * TELEF. Nº 246312876, 246324122 * FAX Nº 246316431		DES. Nº <b>4FZ 283 007</b>
DES.	ESCOLA E – B 2 – 3 / S – FERREIRA DO ZÉZERE	SUBSTITUI DES. Nº
PROJ.	LEVANTAMENTO DO EXISTENTE – BLOCO 8	SUBSTITUÍDO POR DES. Nº
DES.	SALA DO ALUNO – PLANTAS E ALÇADOS	ESCALAS 1/100
DATA 2004 MARÇO		



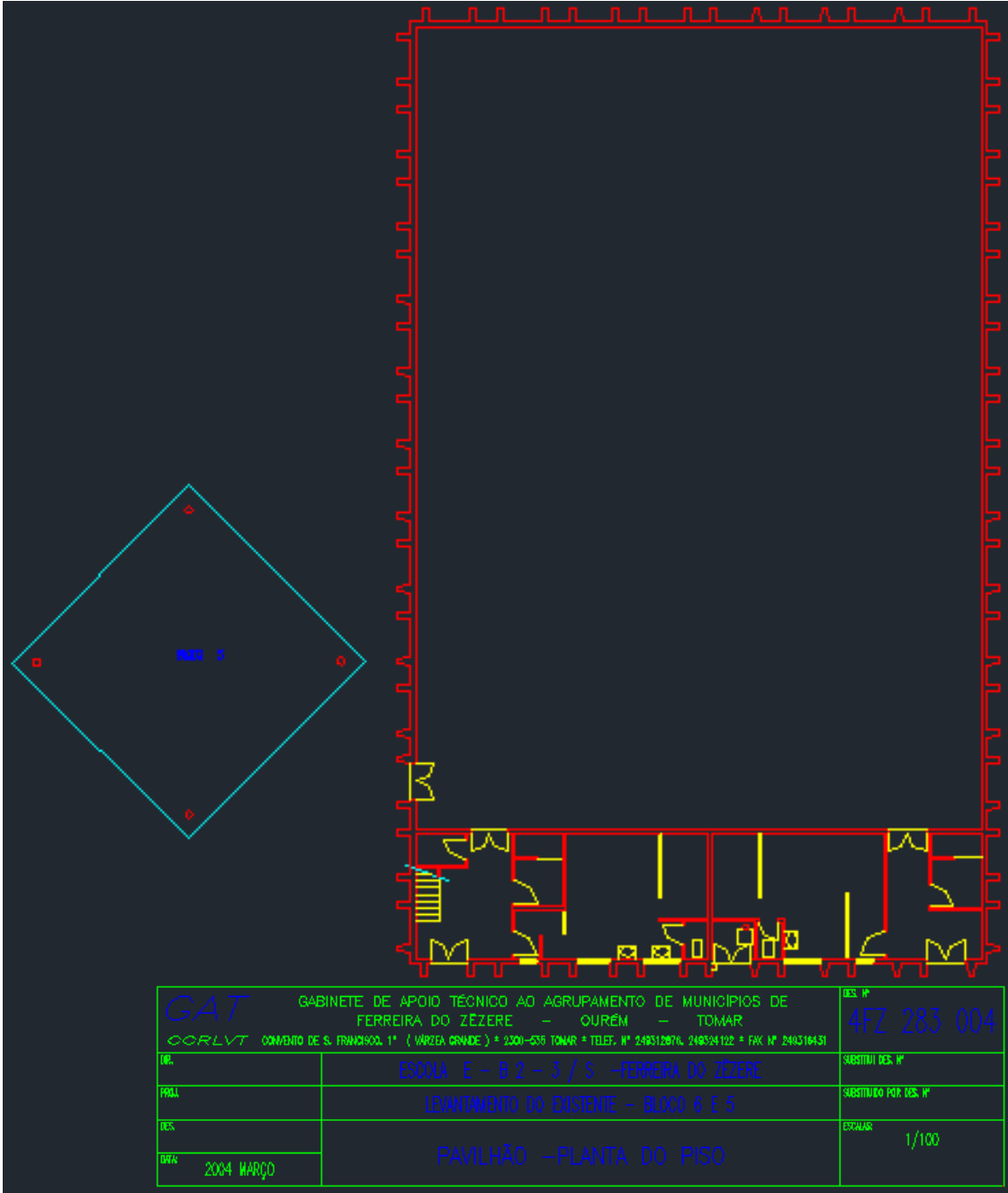
## Planta dos Blocos 11, 12 e 13



## Planta do Bloco 3 – Balneários



Planta dos Blocos 5 e 6 – Pavilhão

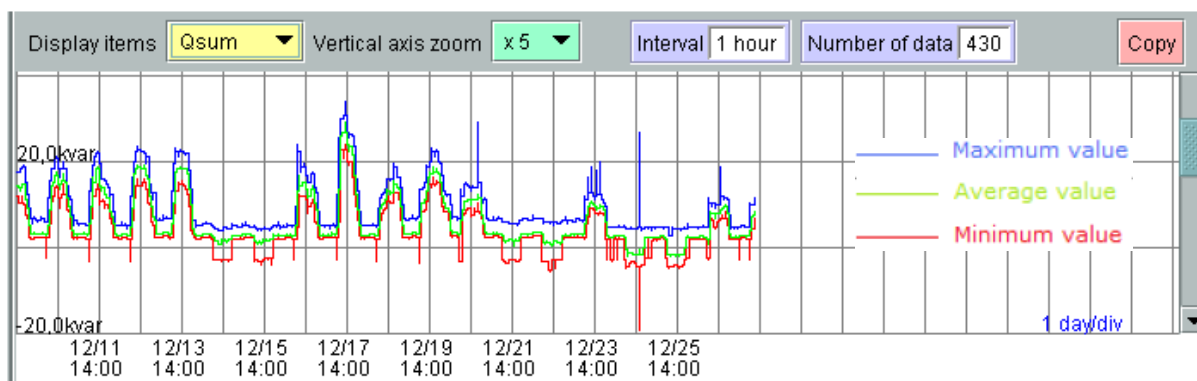


## **ANEXO III**

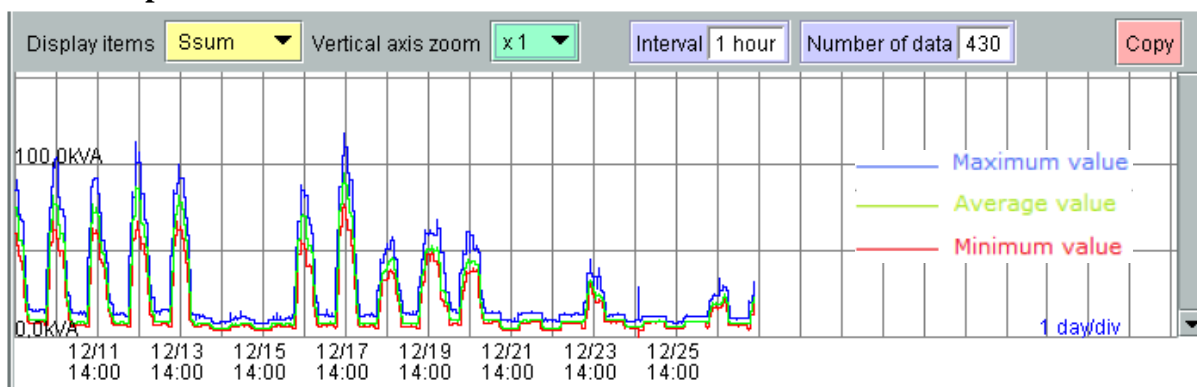
### **Gráficos obtidos pelo analisador de redes**

- Diagrama de cargas;
- Tensão;
- Corrente.

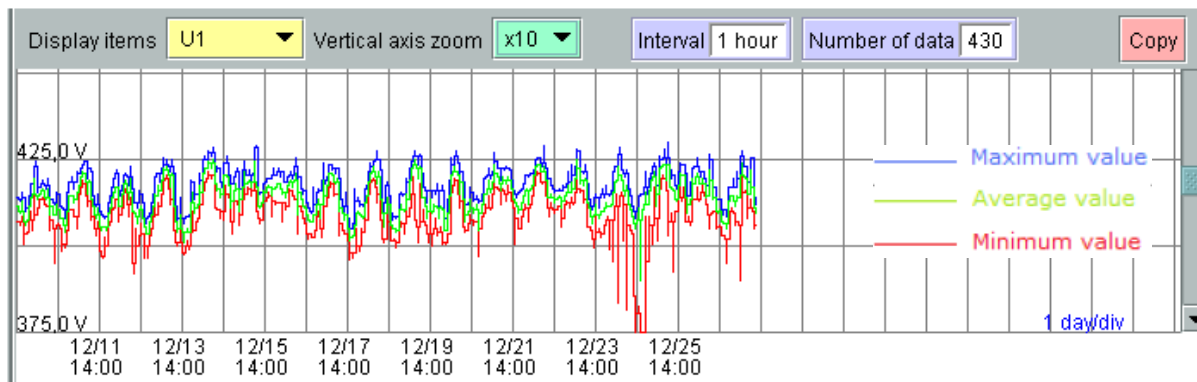
## Potência reactiva



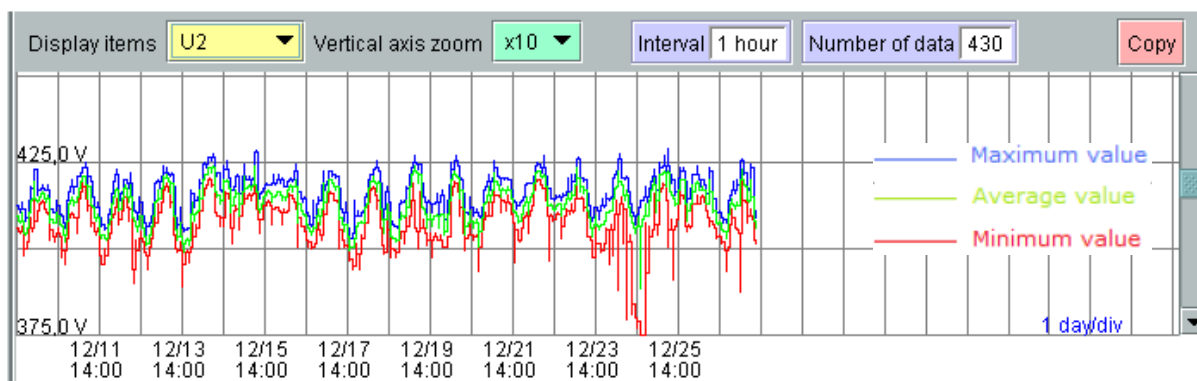
## Potência aparente



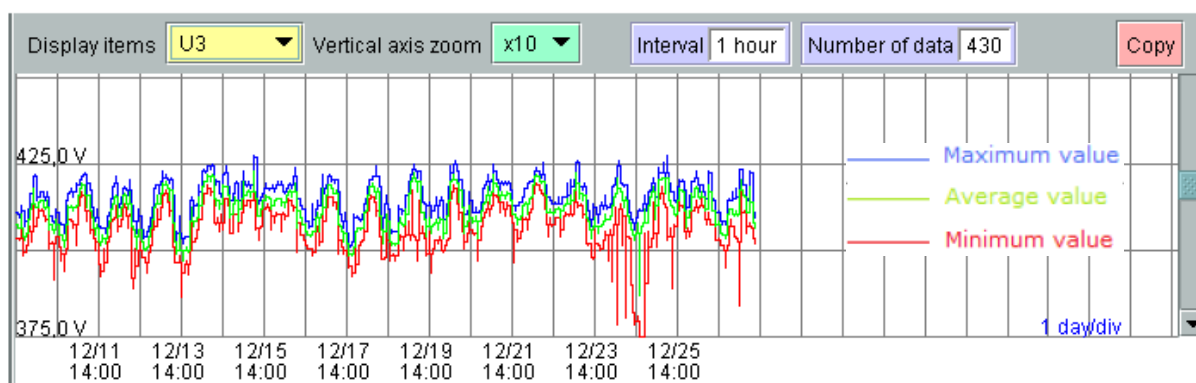
## U1



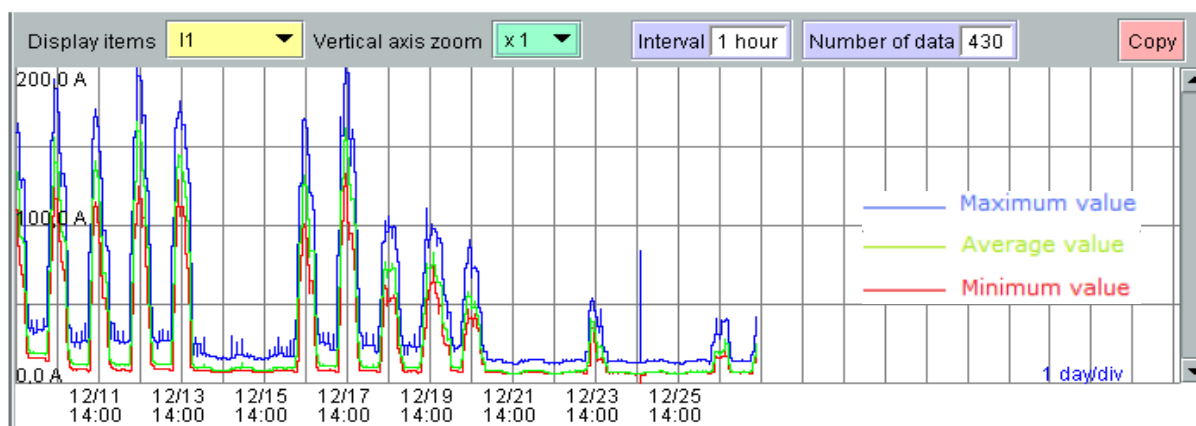
## U2



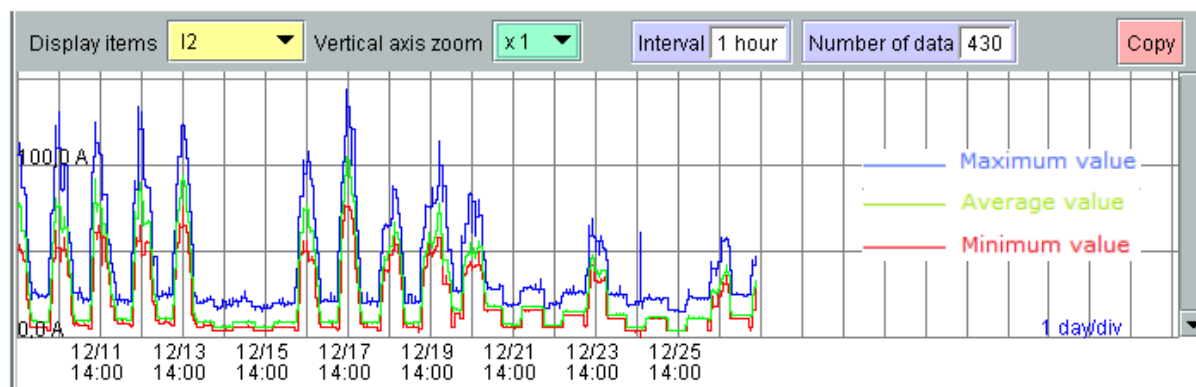
### U3



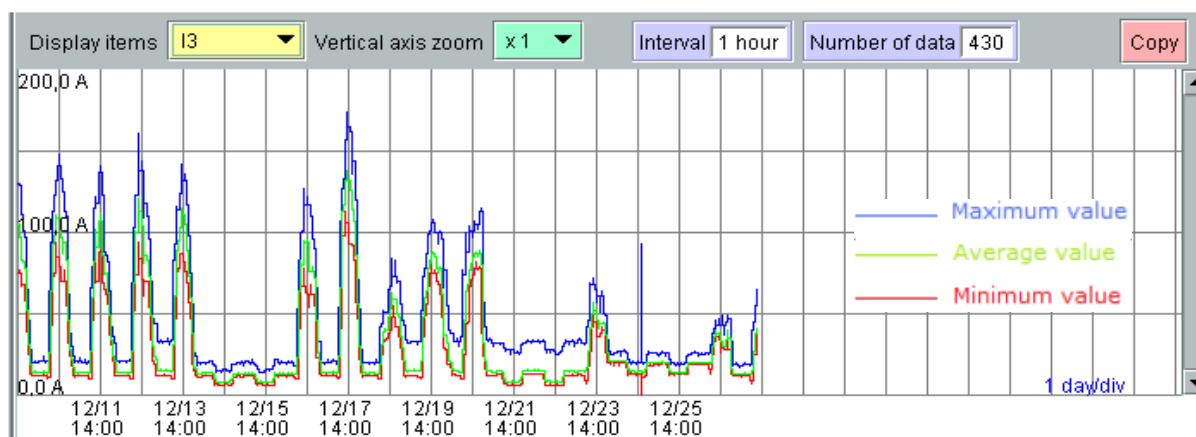
### I1



### I2



### I3

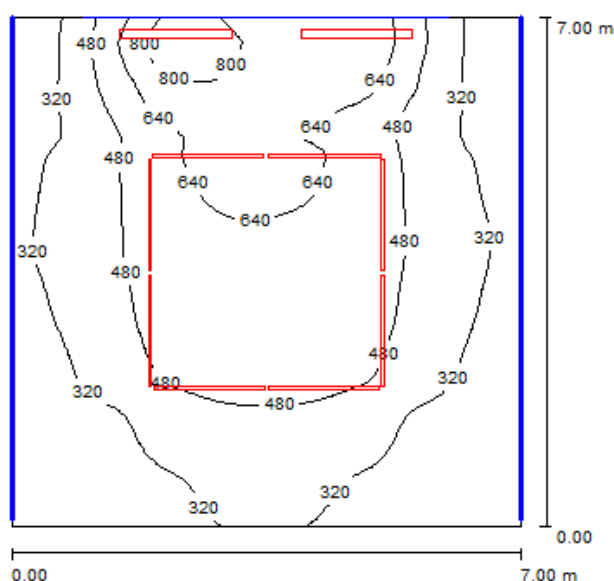


## **ANEXO IV**

### **Dados sistema iluminação**

- Simulação Sala 6;
- Simulação Sala 11;
- Simulação Wall;
- Horário Sala 6;
- Horário Sala 11;
- Balastros eletrônicos dimáveis, TRIDONIC (HCM – TRODONIC, 2014);
- Balastros electrónicos, TRIDONIC (HCM – TRODONIC, 2014);
- Sensor luminosidade, TRIDONIC (HCM – TRODONIC, 2014) (TRIDONIC, 2014);
- Simulação Sala 11 após reformulação;
- Simulação Wall após reformulação;
- Simulação Sala 6 após reformulação.

## Simulação Sala 6

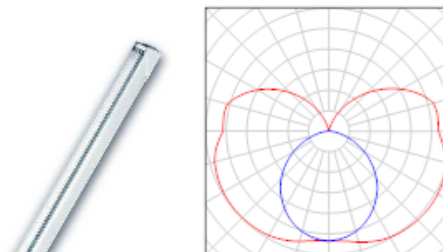


Altura da sala: 3.000 m, Factor de manutenção: 0.80

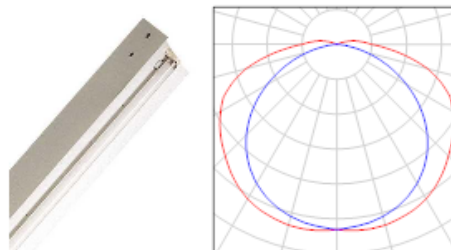
Valores em Lux, Escala 1:90

Superfície	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano de uso	/	449	169	926	0.377
Solo	20	383	207	579	0.541
Tecto	80	287	64	37202	0.223
Paredes (4)	50	229	53	659	/

- 8 Unid. OSRAM 4050300528373 ECOPACK 58 W  
 N° do artigo: 4050300528373  
 Corrente luminosa (Luminária): 3984 lm  
 Corrente luminosa (Lâmpadas): 5000 lm  
 Potência luminosa: 55.0 W  
 Classificação de luminárias conforme CIE: 68  
 Código de Fluxo (CIE): 30 57 80 68 80  
 Lâmpada (s): 1 x L 58 W (Factor de correcção 1.000).

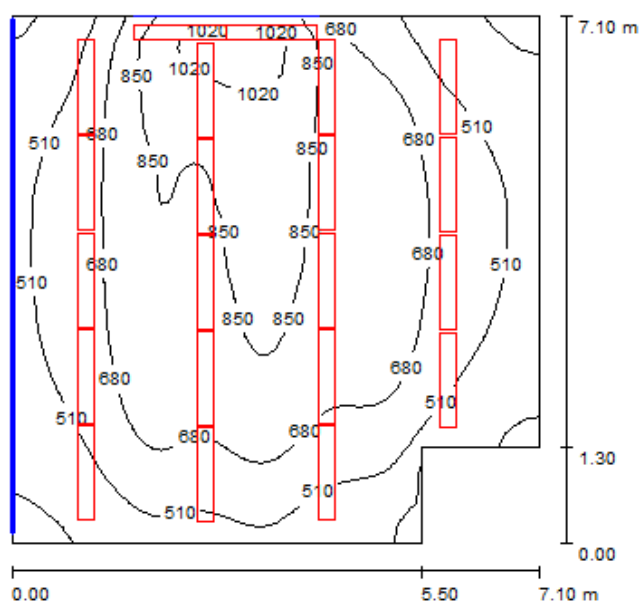


- 2 Unid. OSRAM 4050300910451 PASS II 153 1X58 W HF  
 N° do artigo: 4050300910451  
 Corrente luminosa (Luminária): 4227 lm  
 Corrente luminosa (Lâmpadas): 5200 lm  
 Potência luminosa: 55.0 W  
 Classificação de luminárias conforme CIE: 97  
 Código de Fluxo (CIE): 39 69 90 97 81  
 Lâmpada (s): 1 x LUMILUX T8 58W (Factor de correcção 1.000).





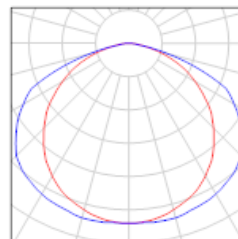
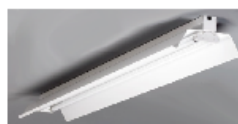
## Simulação Sala 11



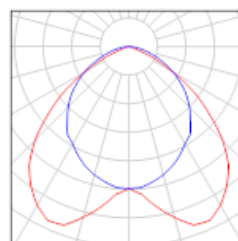
Altura da sala: 3.000 m, Factor de manutenção: 0.70      Valores em Lux, Escala 1:92

Superfície	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano de uso	/	659	275	1119	0.416
Solo	20	580	305	815	0.526
Tecto	80	125	79	190	0.635
Paredes (6)	50	269	39	635	/

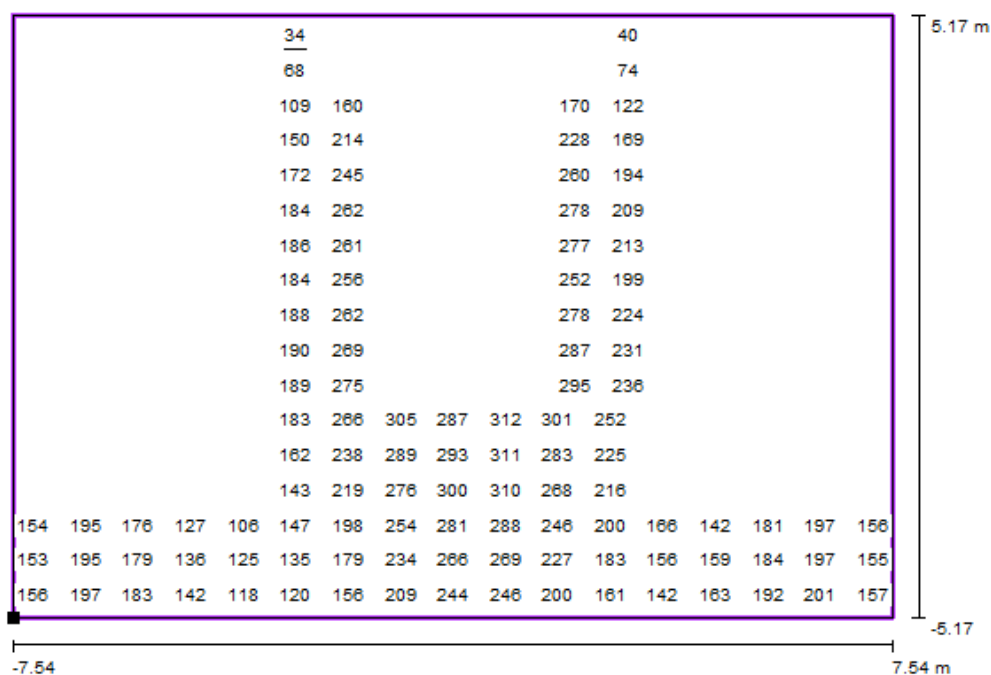
- 2 Unid. INDAL L401IFKJ\_36Fa1M1 401-IFK-J  
 N° do artigo: L401IFKJ\_36Fa1M1  
 Corrente luminosa (Luminária): 2425 lm  
 Corrente luminosa (Lâmpadas): 3350 lm  
 Potência luminosa: 36.0 W  
 Classificação de luminárias conforme CIE: 100  
 Código de Fluxo (CIE): 43 76 96 100 73  
 Lâmpada (s): 1 x FD-36 (Factor de correcção 1.000).



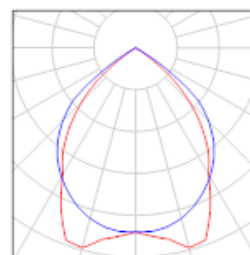
- 19 Unid. PHILIPS TCS160 1xTL-D36W HFP C3  
 N° do artigo:  
 Corrente luminosa (Luminária): 2546 lm  
 Corrente luminosa (Lâmpadas): 3350 lm  
 Potência luminosa: 36.0 W  
 Classificação de luminárias conforme CIE: 100  
 Código de Fluxo (CIE): 55 89 99 100 76  
 Lâmpada (s): 1 x TL-D36W/840 (Factor de correcção 1.000).



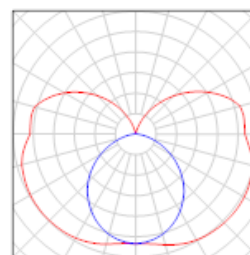
## Simulação WALL



- 10 Unid. OSRAM 4050300482194 FLASH PRESTIGE 158  
Nº do artigo: 4050300482194  
Corrente luminosa (Luminária): 3547 lm  
Corrente luminosa (Lâmpadas): 5400 lm  
Potência luminosa: 58.0 W  
Classificação de luminárias conforme CIE: 100  
Código de Fluxo (CIE): 73 100 100 100 66  
Lâmpada (s): 1 x TLD 58W/84 (Factor de correcção 1.000).



- 16 Unid. OSRAM 4050300528359 ECOPACK 36 W  
Nº do artigo: 4050300528359  
Corrente luminosa (Luminária): 2550 lm  
Corrente luminosa (Lâmpadas): 3200 lm  
Potência luminosa: 36.0 W  
Classificação de luminárias conforme CIE: 68  
Código de Fluxo (CIE): 30 57 80 68 80  
Lâmpada (s): 1 x L 36 W (Factor de correcção 1.000).



**HORÁRIO DA SALA: 06**

<b>TEMPOS</b>	<b>SEGUNDA</b>	<b>TERÇA</b>	<b>QUARTA</b>	<b>QUINTA</b>	<b>SEXTA</b>
<b>08:50 - 09:40</b>		MAT	EPC	FQ	GGF
<b>09:45 - 10:35</b>	PORT	ING		HST	AssPort
<b>10:50 - 11:40</b>	CNA	PORT	FRC	GGF	MAT
<b>11:45 - 12:35</b>	CNA	PORT	FRC	FRC	QIM
<b>12:40 - 13:30</b>	ING		GGF		QIM
<b>13:40 - 14:30</b>					
<b>14:40 - 15:30</b>					EMR
<b>15:40 - 16:30</b>		FQ			FRC
<b>16:40 - 17:30</b>				AssPort	ApMat

**HORÁRIO DA SALA: 11**

<b>TEMPOS</b>	<b>SEGUNDA</b>	<b>TERÇA</b>	<b>QUARTA</b>	<b>QUINTA</b>	<b>SEXTA</b>
<b>08:50 - 09:40</b>	CESP		PORT	PORT	PORT
<b>09:45 - 10:35</b>	CESP	MAT	PORT	PORT	PORT
<b>10:50 - 11:40</b>	CESP	MAT	MAT	HGP	ING
<b>11:45 - 12:35</b>	CESP	CNA	CNA	ING	
<b>12:40 - 13:30</b>			ING	ApE	
<b>13:40 - 14:30</b>					
<b>14:40 - 15:30</b>		ApE			HGP
<b>15:40 - 16:30</b>	PORT	HGP			EPC
<b>16:40 - 17:30</b>	ApE	EMR			ApE

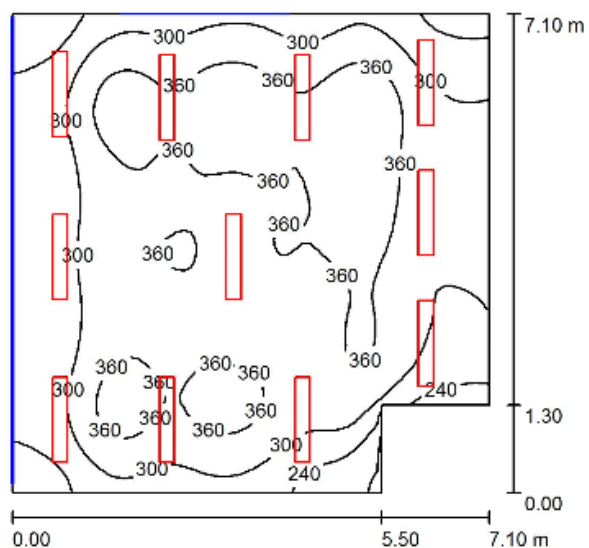
Balastros Electrónicos Dimáveis				
Watts/VA	Artº Nº	Descrição	€	Cx.
Lâmpadas T8 PCA BASIC de 10% a 100% - DSI				
18	22185241	PCA 1x18 T8 BASIC Ip xtec II	32.85	
36	28000042	PCA 1x36 T8 BASIC Ip xtec II	32.85	
58	28000043	PCA 1x58 T8 BASIC Ip xtec II	32.85	
2x18	22185244	PCA 2x18 T8 BASIC Ip xtec II	36.75	
2x36	28000044	PCA 2x36 T8 BASIC Ip xtec II	36.75	
2x58	28000045	PCA 2x58 T8 BASIC Ip xtec II	36.75	
Balastros Electrónicos				
Watts/VA	Artº Nº	Descrição	€	Cx.
PC T8 TOP SL - Lâmpadas T8/TLD/TCL				
18	22185222	PC 1x18 T8 TOP sl 1x18 TCL	8.75	10
36	22185223	PC 1x36 T8 TOP sl 1x36 TCL	8.75	10
58	22185224	PC 1x58 T8 TOP sl 1x55 TCL	8.75	10
2x18	22185225	PC 2x18 T8 TOP sl 2x18 TCL	9.75	10
2x36	22185226	PC 2x36 T8 TOP sl 2x36 TCL	9.75	10
2x58	22185227	PC 2x58 T8 TOP sl 2x55 TCL	9.75	10
Balastros Electrónicos Dimáveis				
Watts/VA	Artº Nº	Descrição	€	Cx.
Smart Sensor - PCA Basic - ECO - EXCEL				
	86459169	SMART Sensor 5D 19f - Daylight	23.70	

### Product description

- ▶ Optional ambient light sensor and motion detector for PCA EXCEL one4all devices from the xitec II generation
- ▶ Simple setting of the set-point via integrated momentary-action switch at the sensor
- ▶ Compact dimensions for luminaire installation
- ▶ Simple cable connection to the ballast via SMART interface
- ▶ Power supply via ballast
- ▶ Lighting control and presence detection can be deactivated
- ▶ Individual adjustment of the parameters with configuration software
- ▶ Max. installation height 5 m



### Simulação Sala 11 após reformulação



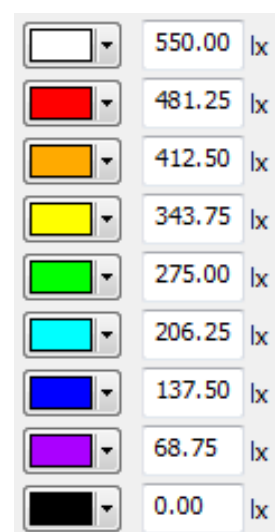
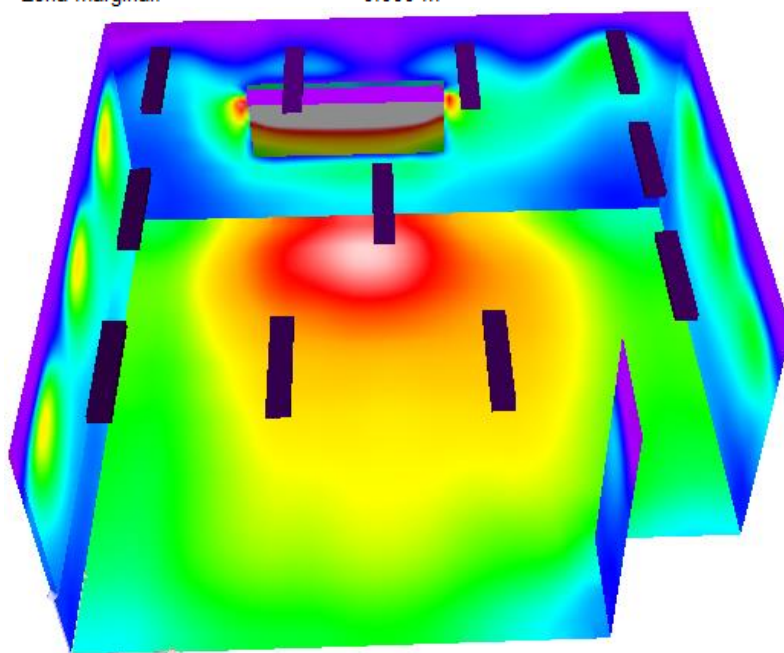
Altura da sala: 3.000 m, Altura de montagem: 2.990 m, Factor de manutenção: 0.70

Valores em Lux, Escala 1:92

Superfície	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano de uso	/	324	161	414	0.498
Solo	20	285	160	348	0.561
Tecto	80	63	44	84	0.703
Paredes (6)	50	150	20	340	/

#### Plano de uso:

Altura: 0.800 m  
 Grelha: 64 x 64 Pontos  
 Zona marginal: 0.000 m

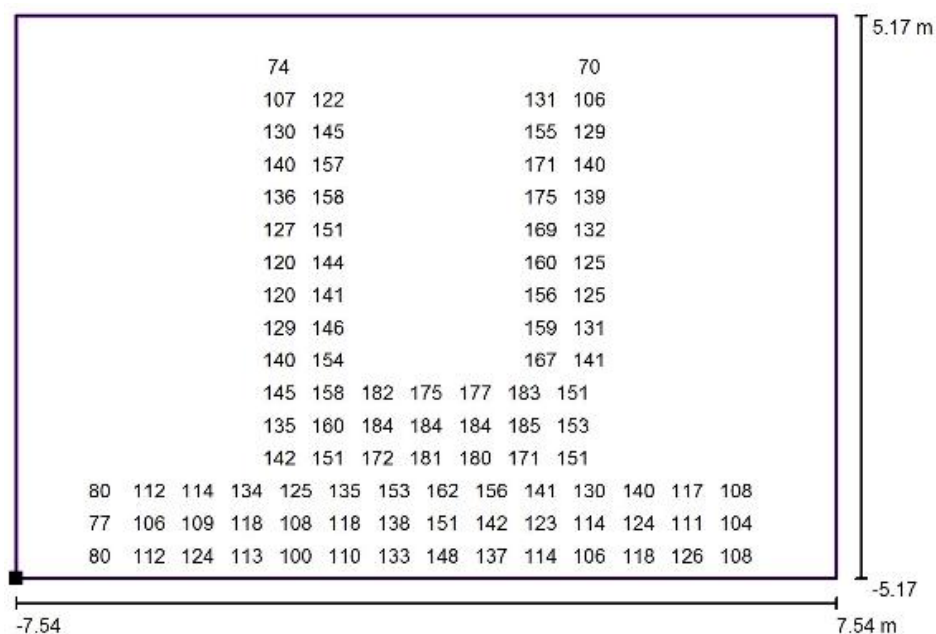




### Plano de uso:

Altura:	0.800 m
Grelha:	64 x 64 Pontos
Zona marginal:	0.000 m

## Simulação Wall após reformulação



Valores em Lux, Escala 1 : 115

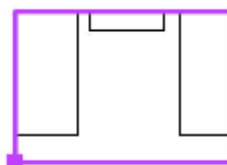
Nem todos os valores calculados podem ser representados.

Posição da superfície na sala:

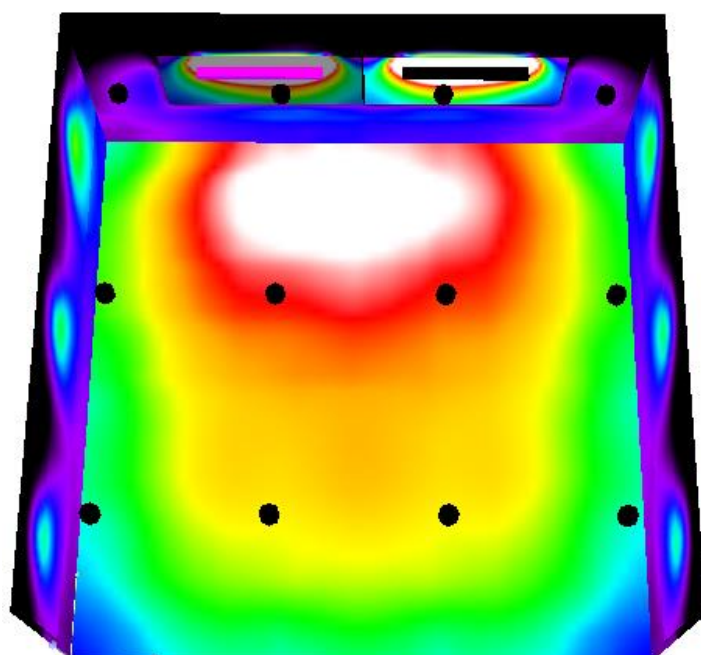
Ponto marcado: (-4.336 m, -0.002 m, 3.000 m)

Grelha: 536 Pontos

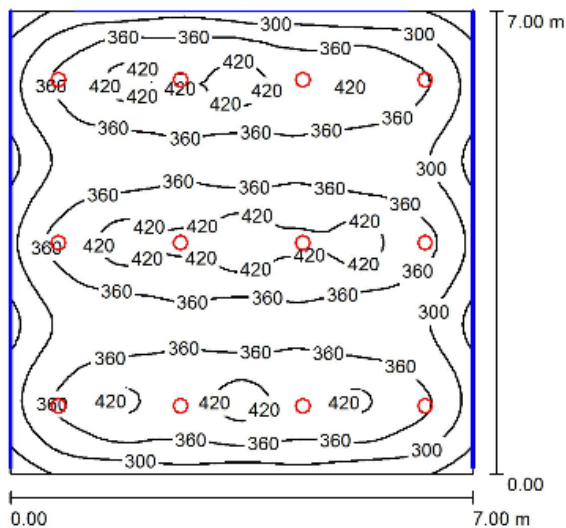
$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$	$E_{min} / E_{max}$
138	54	186	0.39	0.29



## Simulação Sala 6 após reformulação



<input type="text" value="550.00"/>	lx
<input type="text" value="493.75"/>	lx
<input type="text" value="437.50"/>	lx
<input type="text" value="381.25"/>	lx
<input type="text" value="325.00"/>	lx
<input type="text" value="268.75"/>	lx
<input type="text" value="212.50"/>	lx
<input type="text" value="156.25"/>	lx
<input type="text" value="100.00"/>	lx



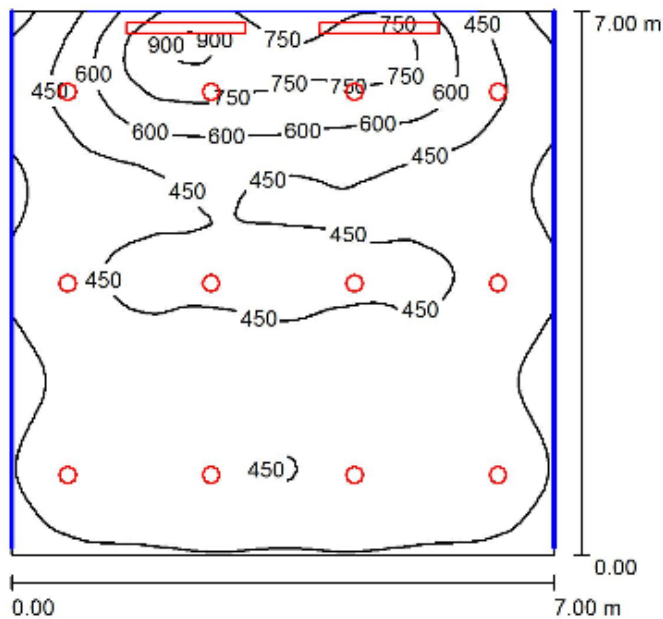
Altura da sala: 3.000 m, Altura de montagem: 3.000 m, Factor de manutenção: 0.80

Valores em Lux, Escala 1:90

Superfície	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano de uso	/	353	184	454	0.521
Solo	20	321	188	388	0.584
Tecto	80	50	34	60	0.680
Paredes (4)	50	110	15	175	/

#### Plano de uso:

Altura: 0.800 m  
Grelha: 64 x 64 Pontos  
Zona marginal: 0.000 m



Altura da sala: 3.000 m, Factor de manutenção: 0.80

Valores em Lux, Escala 1:90

Superfície	$\rho$ [%]	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min} / E_m$
Plano de uso	/	447	206	945	0.462
Solo	20	403	208	598	0.517
Tecto	80	75	43	144	0.582
Paredes (4)	50	149	21	556	/

#### Plano de uso:

Altura: 0.800 m  
Grelha: 64 x 64 Pontos  
Zona marginal: 0.000 m





## AEGIRIA 56

### Informações Elétricas Gerais

Tensão Nominal	230 V / 110 V
Frequência	50Hz / 60Hz
Fator Potência	>0,9
LFC Equivalente	2 x 32W   2 x 26W   2 x 18W
Tempo de Arranque	<0,5s
Classe de Eficiência	A++
Depreciação do Fluxo (50.000h)	0,7
Tempo de Aquecimento	0s

### Cores e Materiais

Dissipador	Alumínio Anodizado
Cor do Anel	Branco
Superfície Luminosa	Acrílico Difuso

### Forma e Dimensões

Altura	137mm
Diâmetro	240mm
Peso	850 g
Diâmetro de Encastramento	210 - 220mm

### Duração

Duração Nominal	50.000h
Ciclos de Operação	50.000
Temperatura de Operação	- 10 <sup>0</sup> C a + 40 <sup>0</sup> C

### Outros

Índice IP	53
Índice IK	04
Classe de Isolamento	Classe II

### Modelos

REF.	Ângulo	Potência	Fluxo [lm]	Eficácia [lm/W]	Duração [h]	CRI	CCT	Regulação de Fluxo	Sensor de Movimento	Comunicação	Equivalente LFC
D56-12-A-B-C-D-E	A	14	1200	86	50.000	>80	B	Sim	C	D	2 x 18W
D56-18-A-B-C-D-E	A	22	1800	82	50.000	>80	B	Sim	C	D	2 x 26W
D56-23-A-B-C-D-E	A	29	2300	79	50.000	>80	B	Sim	C	D	2 x 32W

### A – Ângulos de Feixe de Luz

Código	Ângulo de Feixe
75D	75 graus

### B – Temperatura de Cor Correlacionada

Código	Temperatura
30K	3000K
40K	4000K
50K	5000K

### C - Zona de detecção do sensor

Código	Ø Zona de detecção
00	Sem Sensor
01	1 metro
02	2 metros
03	4 metros
04	6 metros

### D – Comunicação

Código	Tipo de Comunicação
00	Sem Comunicação
01	Protocolo Proprietário

### E – Cor do Anel

Código	Cor
PR	Preto
BR	Branco
CP	Prateado



### Exemplo de referência

#### D56-23-30K-03-00-PR

AEGIRIA 56 com 2300 lúmens de fluxo, 3000<sup>0</sup> K de temperatura de cor, sensor de movimentos integrado com área de detecção com 4 m, sem comunicação e anel em preto.

### Diagrama Ótico

